

Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde ⁽¹⁾

R. MANCIOT (2), M. OLLAGNIER (3), et R. OCHS (4)

II. — ÉTUDE DES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS (suite)

3. — Potassium.

Le potassium est réputé pour avoir une importance physiologique considérable mais le rôle qu'il joue dans la formation du rendement reste un mystère (conclusion Congrès I. I. P. Berne, 1978).

On pense qu'il est important dans le métabolisme de la plante, dans l'accélération des mouvements des stomates (économie d'eau), dans l'activation des enzymes, dans le transport des métabolites et les divisions cellulaires. Ces points ont été peu ou pas encore étudiés pour le cocotier.

a) Symptômes de la déficience.

Pour une feuille de rang 14, le niveau critique est de 0,80 à 1,00 p. 100 de la matière sèche pour les variétés Grands. Avec le nouveau matériel végétal hybride, en particulier avec l'hybride Nain Jaune de Malaisie \times Grand Ouest Africain ou P-B 121, le niveau déterminé par l'I. R. H. O. a été porté à 1,40 pour la période précédant la production maximale.

Les premiers symptômes visuels de la déficience apparaissent sur la foliole sous la forme suivante :

- des taches rouilles, localisées sur 2 bandes longitudinales de part et d'autre de la nervure médiane, dont le diamètre assez irrégulier varie de 0,5 à 3 ou 4 mm ;
- un léger jaunissement du limbe, plus marqué vers l'extrémité de la foliole.

Par la suite, le jaunissement s'accroît et ne laisse qu'une bande médiane verte qui s'amincit jusqu'à la pointe nécrosée. Les taches rouilles envahissent toute la foliole et forment de grandes plaques aux contours irréguliers.

La déficience visuelle de potassium se marque par un jaunissement des feuilles du milieu de la couronne puis par un dessèchement des feuilles basses dans des stades extrêmes.

Les symptômes de déficience ne sont pas nettement visibles dans la gamme comprise entre 0,4-0,5 et le niveau critique.

b) Causes.

Les causes de la carence potassique sont essentiellement d'ordre pédologique car les sols ne possèdent que très rarement les grandes quantités de potassium dont le cocotier a besoin. Les analyses données dans le tableau I confirment que de nombreuses cocoteraies dans le monde sont déficientes en potassium.

C'est le cas des sables tertiaires et quaternaires de l'Afrique de l'Ouest, des sables côtiers de Sambava (Madagascar), des sols coralliens des atolls d'Océanie, des zones latéritiques épuisées de l'Inde, des sols sableux de la côte Est du Sri Lanka, dont les niveaux en K sont inférieurs à 0,15 mé/100 g.

En revanche, on rencontre en Indonésie, aux Philippines, au Viet Nam, au Cambodge, en Malaisie, ... des terres dont la teneur native en potassium est élevée et supérieure à 0,30 mé/100 g, et qui couvrent des surfaces considérables.

Mais cette richesse initiale peut être fortement compromise par des cultures vivrières très épuisantes (manioc par exemple).

c) Correction par les fumures minérales.

La déficience potassique est fréquente. Elle est facilement décelée par l'analyse foliaire si les symptômes visuels ne sont pas suffisants pour la mettre en évidence.

La déficience potassique est présente aux Nouvelles-Hébrides, à Madagascar, au Mozambique, à la Jamaïque, en Côte-d'Ivoire, au Togo, au Bénin, au Mexique, dans certaines situations de Malaisie, en Nouvelle-Guinée, aux Salomon, au Sri Lanka, en Inde, au Brésil...

Les expériences ont surtout porté sur le matériel végétal traditionnel Grand. L'arrivée du cocotier hybride, dont l'important volume de production augmente les exportations [9], nécessite une fumure potassique plus importante. Une série d'expériences nouvelles a donc vu le jour, dont 19 pour le seul territoire de la Côte-d'Ivoire.

Les effets du potassium sont très nets sur les sols les plus pauvres, comme les sables tertiaires et quaternaires de la côte Ouest de l'Afrique (Tabl. VIII).

A cet égard, lorsque l'I. R. H. O. a fait débiter son programme expérimental en 1952, les réponses au potassium furent immédiates et très démonstratives. Cette action se manifeste sur tous les facteurs de la production : nombre d'inflorescences et de régimes/arbre, nombre de fleurs/régime, nombre de noix/arbre, coprah/noix et, par conséquent, sur la quantité de coprah produite par arbre dans l'année. L'expérience PB-CC 1 fournit des renseignements intéressants. Sans potasse, le rendement moyen sur six ans est de 980 kg de coprah/ha/an ; avec l'application de 1,5 kg de chlorure de potassium/arbre/an, le rendement passe à 2 100 kg de coprah/ha/an ; la production est plus que doublée.

Toujours dans le cadre de l'expérimentation de l'I. R. H. O. en Côte-d'Ivoire, l'expérience PB-CC 3 confirme l'action spectaculaire de la fumure potassique sur la production et démontre que le préjudice causé aux arbres par le manque de potassium dans le jeune âge est irrémédiable. Les arbres qui ont reçu une fumure potassique annuelle depuis leur plantation produisent toujours plus que les arbres qui n'en ont reçu qu'à l'âge adulte. Le déficit persiste et se stabilise à 15 ou 20 p. 100 [35].

Si l'expérience PB-CC 5 a confirmé la haute rentabilité de la fumure potassique, elle a également mis en évidence la nécessité de son application annuelle. L'effet résiduel d'une double dose tous les deux ans étant inférieur à l'action annuelle d'une dose simple.

En Inde, Kunhi Muliya *et al.* [18] estiment que l'augmentation de la production par correction de la déficience potassique est essentiellement due à l'augmentation du nombre de noix et non à l'accroissement simultané du nombre de noix et du coprah/noix.

Des observations similaires ont été faites aux Nouvelles-Hébrides par l'I. R. H. O. où, sur sol corallien, l'augmentation de production due à la fumure potassique s'exerce uniquement sur le nombre de noix.

Sumbak [32], en Papouasie-Nouvelle Guinée, a obtenu un accroissement de la production par apport de potassium mais n'a pu démontrer qu'il portait simultanément sur le nombre de noix et le coprah/noix. Cependant il semble que, dans l'expérimentation entreprise, la richesse des sols en K échangeable soit relativement importante (0,26 mé/100 g) et que l'effet majeur soit obtenu par des apports de soufre ; l'auteur précise d'ailleurs que le sulfate de potassium s'est montré supérieur au chlorure.

Il existe donc des cas où la déficience potassique mise en évidence par diagnostic foliaire serait difficilement corrigée par une fumure minérale. Ceci a été observé aux Nouvelles-Hébrides dans l'expérience NH-CC 8, sur sols de plateaux argileux riches ($K = 1,04$ mé/100 g entre 0 et 20 cm de profondeur, et $0,64$ mé/100 g entre 20 et 40 cm) où, malgré des niveaux de K relativement peu élevés (0,582 p. 100 de matière sèche), l'application d'une fumure potassique est sans action sur les teneurs en K et les productions. Il s'agit ici d'un cas où le pouvoir fixateur des sols est peu élevé (illites).

En Polynésie, sur sol corallien, il faut attendre deux ans après la première application d'engrais pour constater un début d'effet sur le rendement des arbres adultes bien que les teneurs dans les feuilles aient augmenté très rapidement.

Sur sables coralliens plus évolués, comme dans l'expérience NH-CC 6 aux Nouvelles-Hébrides, c'est encore la déficience potassique qui est facteur limitant de la production et l'appli-

(1) II^e partie de la communication présentée à la 5^e Session du Groupe de travail FAO sur la production, la protection et le traitement de la noix de coco, 3-8 décembre 1979, Manille (Philippines). La I^{re} partie a paru dans le N^o de novembre 1979 de la Revue *Oléagineux*.

(2) Département Cocotier de l'I. R. H. O. ; 11, Squ. Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Directeur des recherches à l'I. R. H. O., Paris (France).

(4) Directeur du Département Agronomie de l'I. R. H. O. - IRHO/GERDAT, B. P. 5035 — 34032 Montpellier Cedex (France).

TABLEAU VIII. — Action des engrais sur la teneur en K et effets des engrais potassiques
(Action of fertilizers on K level and effects of potassic fertilizers)

| Pays (Country) | Expérience (Experiment) | Rang de la feuille (Leaf rank) | Effet des engrais sur la teneur en K de la feuille (Effect of fertilizers on K level of leaf) | | | | | Effets des engrais potassiques sur : (Effect of potassic fertilizers on :) | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|----------|--|---------|--|---|--|---|-----------------------|---------|-------|---|-------|---------|--------|
| | | | Effet Kc/ teneurs en Kf (Effect of Kc on Kf levels) | | Effet Nc/ teneurs en Kf (Effect of Ne on Kf levels) | | Effet Pc/ teneurs en Kf (Effect of Pe on Kf levels) | | Effet Mge/ teneurs en Kf (Effect of Mge on Kf levels) | | la production (yield) | | | la croissance (growth) | | | |
| | | | (—) K | (—) N | (—) N | (—) P | (—) Mg | Nbre de noix/ arbre/an (No. nuts/tree/ year) | Coprah/noix (Coprah/nut) | Coprah total/ arbre/an (Total coprah/ tree/year) | (—) K | (—) K | (—) K | Circonférence au collet (Girth) cm | (—) K | | |
| GRANDS (TALLS) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coats) | PB-CC 1 | 14 | 0,159 | 0,779 ** | 0,569 | 0,390 | 0,449 | 0,511 | 0,489 | 0,471 | 27,5 | 62,4 ** | 168 | 211 ** | 4,7 | 13,0 ** | |
| | PB-CC 3 (1964) | 14 | 0,392 | 0,692 ** | 0,509 | 0,475 | 0,509 | 0,475 | 0,504 | 0,480 | 36,7 | 71,5 ** | 187 | 197 ** | 6,8 | 14,1 ** | |
| | (1970) | 14 | 0,807 | 0,819 | 0,856 | 0,770 | 0,887 | 0,739 ** | 0,852 | 0,774 | 64,3 | 76,9 ** | 207 | 204 | 13,1 | 15,5 ** | |
| | PB-CC 23 | 14 | 0,800 | 1,470 ** | | | 1,230 | 1,118 | 1,230 | 1,118 | 29,9 | 58,8 ** | | | | | |
| DA-CC 1 | 14 | 0,605 | 1,449 ** | 1,089 | 0,977 | 1,177 | 0,899 ** | 1,177 | 0,899 ** | 35,4 | 63,4 ** | | | | | | |
| Nouvelles-Hébrides (New Hebrides) | NH-CC 6 | 14 | 0,797 | 0,981 ** | 0,903 | 0,956 | 0,915 | 0,903 | | | 112,0 | 122,8 | 151 | 151 | 16,9 | 18,5 * | |
| | NH-CC 8 | 14 | 1,031 | 1,108 | 1,076 | 1,025 | 1,073 | 1,144 | | | 84,7 | 90,4 | 150 | 149 | 12,6 | 13,5 | |
| Mozambique | MP-CC 1 | 14 | 0,619 | 0,764 | 0,976 | 0,676 | | | | | 84,1 | 87,3 | 189 | 188 | 15,9 | 16,4 | |
| Madagascar | SB-CC 3 | 9 | | | 1,237 | 1,100 | 1,374 | 0,989 ** | | | | | | | | | |
| | sans (no) KCl avec (with) KCl | 9 | | | 1,410 | 1,346 | 1,575 | 1,201 ** | | | | | | | | | |
| HYBRIDES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 16 | 4 | 0,808 | 2,132 ** | 1,654 | 1,575 * | 1,631 | 1,622 | 1,661 | 1,541 | 4,0 | 20,2 ** | 216 | 246 ** | 11,0 | 24,2 ** | 73 |
| | 25 mois (months) | 4 | 1,274 | 2,117 ** | 1,731 | 1,749 | 1,762 | 1,720 | 1,809 | 1,698 * | 52,3 | 99,0 ** | 199 | 234 ** | 7,7 | 16,7 ** | 92 ** |
| | 5 ans (years) | 9 | 0,860 | 1,678 ** | 1,328 | 1,287 | 1,278 | 1,303 | 1,293 | 1,306 | 39,1 | 71,1 ** | | | | | |
| | 6 ans (years) | 14 | 0,599 | 1,594 ** | 1,180 | 1,170 | 1,162 | 1,184 | 1,138 | 1,194 | | | | | | | |
| | 8 ans (years) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PB-CC 18 | 4 | 1,972 | 2,398 ** | 2,186 | 2,184 | 2,241 | 2,129 | 2,241 | 2,129 | 76,8 | 88,1 ** | 236 | 230 | 18,1 | 20,3 ** | 71 |
| | 31 mois (months) | 14 | 1,230 | 1,513 ** | 1,405 | 1,358 * | 1,415 | 1,328 ** | 1,415 | 1,328 ** | | | | | | | 90 |
| | 8 ans (years) | 14 | 1,196 | 1,606 ** | 1,617 | 1,318 * | 1,559 | 1,304 | 1,559 | 1,304 | | | | | | | 40,4 |
| | PB-CC 31 | 4 | 1,208 | 1,935 ** | 1,621 | 1,462 * | 1,639 | 1,504 | 1,639 | 1,504 | | | | | | | 49,1 * |
| | PB-CC 39 | 4 | 0,473 | 2,020 ** | | | | | | | | | | | | | |
| DA-CC 2 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indonésie (Indonesia) | PNP X | 4 | 1,81 | 1,97 * | 1,92 | 1,87 | 1,92 | 1,95 | 1,90 | 1,94 | | | | | | | |
| Philippines | PH-CC 8 | 4 | 1,799 | 1,887 * | 1,862 | 1,832 | | | 1,837 | 1,859 | | | | | | | |
| Jamaïque (Jamaica) | F/13 | 14 | 0,65 | 0,77 ** | 0,79 | 0,68 | 0,79 | 0,72 | | | 38,6 | 44,2 | 173 | 164 | | | 124 |
| | F/14 | 14 | 0,93 | 0,57 ** | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 0,49 | | | 27,4 | 28,9 | | | | | 137 ** |
| NAINS (DWARFS) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Philippines | BK-CC 6 | 4 | 0,733 | 1,434 ** | 1,098 | 1,100 | 1,102 | 1,119 | 1,180 | 1,057 | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | DA-CC 3 | 4 | 1,787 | 2,033 ** | 1,965 | 1,944 | 1,931 | 1,934 | 1,991 | 1,878 * | | | | | | | |
| Jamaïque (Jamaica) | F/9 | 14 | 0,45 | 0,50 ** | 0,50 | 0,45 | 0,46 | 0,49 | 0,47 | 0,48 | 74,5 | 75,5 | | | | | |

cation de chlorure de potassium s'accompagne d'une remontée des teneurs en K et du coprah/arbre.

Foale [42], aux Îles Salomon, qui travaillait aussi sur du matériel Grand a obtenu des effets spectaculaires du potassium. En replantation, des doses annuelles croissantes de potassium ont accru significativement la hauteur des plants dans le jeune âge ; à la 10^e année, la production était de 60 p. 100 plus élevée pour les arbres fumés. Dans une autre expérience, le potassium a triplé la production des parcelles témoins. Foale, qui a beaucoup utilisé le diagnostic foliaire comme moyen d'étude des déficiences, décrit, qu'à la suite de la mise en place de 2 expériences nouvelles, il a constaté que les engrais appliqués restaient sans action sur les teneurs et les rendements, les niveaux des divers éléments minéraux étant proches du niveau critique.

Nous pouvons donc conclure que pour les sols d'origine volcanique, à teneur en K échangeable élevée, la nutrition du cocotier atteint des valeurs proches des niveaux critiques : la fumure potassique n'a alors aucune action sur les teneurs en potassium des feuilles et sur le développement du plant ou la production.

En corrigeant la déficience d'un autre élément, l'accroissement de production qui en résulte peut induire, à terme, une déficience potassique, puisque le potassium est l'élément le plus exporté. Ce phénomène est nettement visible au Mozambique où la correction de la déficience azotée augmente les rendements et provoque la chute des teneurs en potassium. La réaction est identique sur les atolls polynésiens où un meilleur entretien et la correction des déficiences en fer et manganèse obligent à des apports de fumure potassique.

Au tableau VI, nous avons vu que la meilleure nutrition azotée améliore la croissance des jeunes plants mais provoque un effet de dilution du potassium.

Coomans [14] a montré que les teneurs en potassium étaient fortement influencées par la production. Cette remarque a d'autant plus d'importance que le matériel hybride est susceptible de produire des rendements 4 à 6 fois supérieurs à ceux du cocotier Grand.

Les expériences de fumure minérale sur hybride ne sont pas très nombreuses, et relativement récentes. L'expérience PB-CC 16, qui est la plus ancienne sur hybrides de Nains Jaunes de Malaisie × Grand Ouest Africain et hybrides de Nains Verts de Guinée espagnole × Grand Ouest Africain, a débuté en 1970. L'effet du potassium s'est fait sentir dès le jeune âge en augmentant significativement le diamètre au collet.

Cet effet du potassium est aussi spectaculaire sur le nombre d'inflorescences émises par arbre, qui triple en présence d'une fumure potassique. Cette action bénéfique de l'engrais potas-

sique s'intensifie sur la production en agissant sur le nombre de noix et de coprah/noix ; le coprah total est plus que doublé.

Les études de l'I. R. H. O. ont nettement mis en évidence la corrélation hautement significative existant entre les teneurs en potassium et la production en coprah/arbre. Cependant, on ne peut dissocier l'étude du potassium des autres cations car il existe des relations étroites entre eux [11]. C'est ce que nous verrons dans le chapitre traitant des relations avec les autres éléments.

La figure 3 montre l'évolution de la production pour les parcelles K0 et K3 entre les années 1955 et 1968 dans l'expérience PB-CC 1 ; la pluviométrie annuelle et le déficit hydrique annuel cumulé sont représentés pour l'année n — 1.

Les productions des parcelles K0 et K3 évoluent dans le même sens ; la production des parcelles K3 est toujours supérieure à celle des parcelles K0 (effet du potassium).

Entre 1955 et 1961, on remarque deux déficits hydriques **seulement** supérieurs à 200 mm, dont un à 340 mm et le second à 590 mm. Au cours de cette période la production dépend bien de la pluviométrie et du déficit hydrique mais la production moyenne reste relativement constante.

Par contre, depuis 1962, la chute de la production est progressive et en relation avec la présence de déficits hydriques élevés et supérieurs à 380 mm (5 déficits entre 380 et 590 mm ; 2 déficits inférieurs à 200 mm). A chaque déficit minimal correspond une bonne remontée de la production (1963-1964 et 1965-1966).

La liaison « pluviométrie de l'année précédente-production » est bonne. Il y a une analogie entre les courbes de pluviométrie et celles de production. A une élévation de la pluviométrie correspond une augmentation de la production l'année suivante. Cependant ceci n'est pas toujours vrai lorsque le déficit hydrique est supérieur à 400 mm et la pluviométrie annuelle voisine de l'optimum (1 800 à 2 000 mm) mais s'explique très bien, les réserves en eau étant insuffisantes au cours de la période sèche (exemple des parcelles K0 pour les années 1962-1963). Une pluviométrie totale annuelle optimale consécutive à une très faible pluviométrie provoque un accroissement de la production malgré un déficit hydrique élevé (430 mm 1967-1968).

FIG. 3. — PB-CC 1 — Relation entre la production et la pluviométrie annuelle ou le déficit hydrique annuel cumulé (Relationship between, yield, annual rainfall or cumulative annual water deficit).

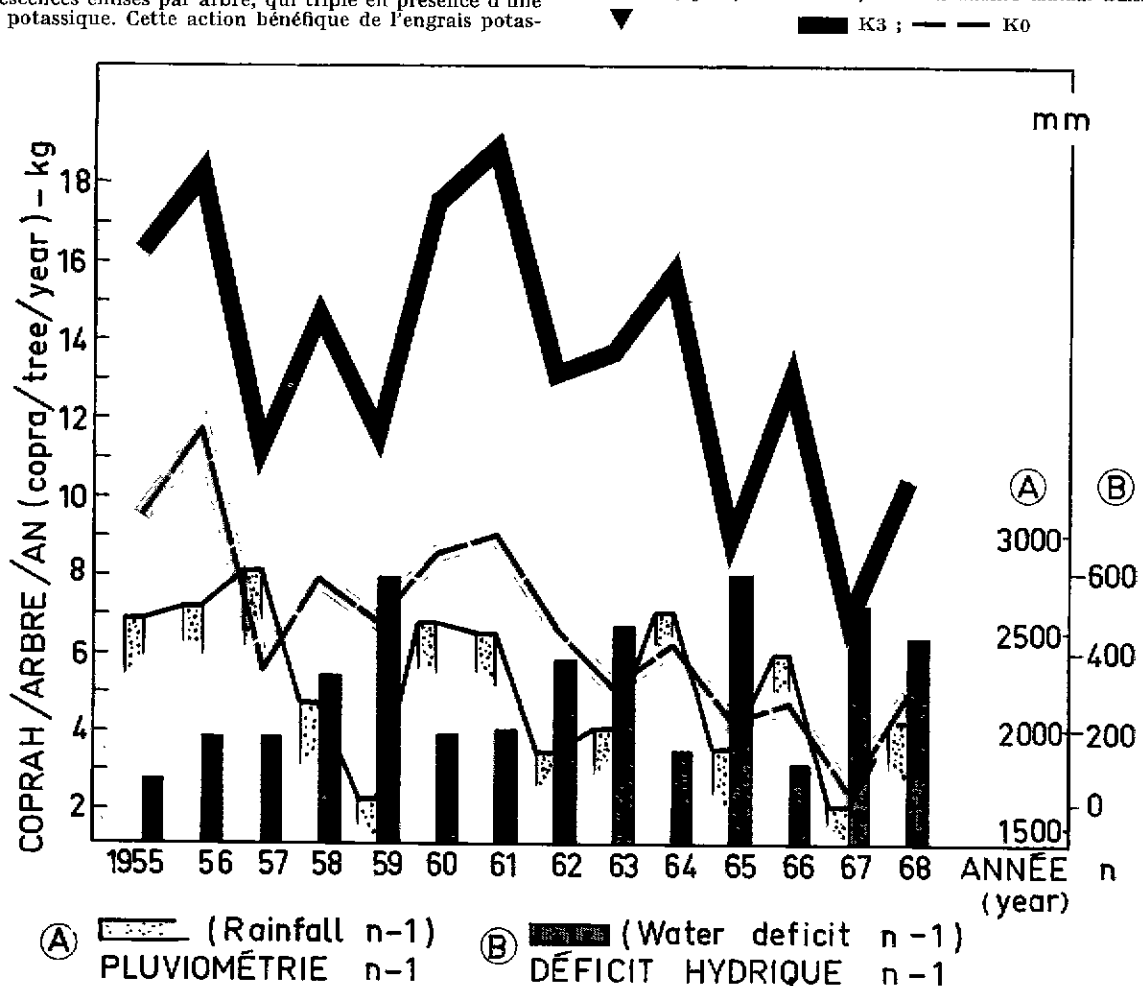


TABLEAU IX. — PB-CC 1 — Production en kg de coprah/arbre/an
(Production in kg/copra/tree/year)

| Année (Year) | Pluviométrie (Rainfall) (mm) (année-year-n - 1) | Parcelles (Plots) K0 | | Parcelles (Plots) K3 | | Gain des parcelles K3 sur les parcelles K0 (Gain K3/K0) |
|-----------------|--|----------------------|------|----------------------|------|--|
| | | Production | Gain | Production | Gain | |
| 1959 | 1 639 (1958) | 6,8 | | 11,6 | | |
| 1960 | 2 567 (1959) | 8,5 | 1,7 | 17,5 | 5,9 | 4,2 |
| 1963 | 2 010 (1961) | 5,1 | | 13,7 | | |
| 1964 | 2 614 (1962) | 6,2 | 1,1 | 15,7 | 2,0 | 0,9 |
| 1965 | 1 902 (1964) | 4,2 | | 8,9 | | |
| 1966 | 2 397 (1965) | 4,7 | 0,5 | 13,0 | 4,1 | 3,6 |
| 1967 | 1 620 (1966) | 2,3 | | 6,6 | | |
| 1968 | 2 039 (1967) | 4,9 | 2,6 | 10,3 | 3,7 | 1,1 |

Enfin, après une période sèche, l'augmentation de production est plus importante pour les parcelles qui reçoivent de l'engrais (Tabl. IX).

En conclusion, il existe une bonne relation entre la production, la pluviométrie et le déficit hydrique. A une baisse de la pluviométrie correspond une chute de production qui est d'autant plus marquée que le déficit hydrique est plus élevé et le déséquilibre nutritionnel accentué. Une bonne nutrition minérale permet aux cocotiers de mieux franchir la saison la plus sèche, en donnant un gain de production appréciable par rapport aux arbres non fertilisés.

Signalons la relation positive très significative qui a été mise en évidence, dans l'expérience PB-CC 3 sur matériel Grand, entre la production moyenne annuelle calculée sur les onze dernières années et la croissance dans le jeune âge exprimée par la circonférence au collet à 57 mois en cm ou le nombre de feuilles émises en 67 mois depuis la plantation. Les coefficients de corrélation ci-contre :

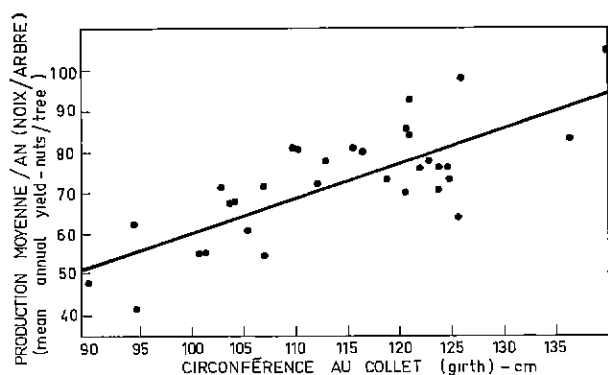


FIG. 4. — PB-CC 3 — Relation croissance-production : corrélation entre la circonférence au collet à 57 mois et la production moyenne annuelle en noix, moyenne sur 11 campagnes (Growth-yield relationship : correlation between girth at 57 months and mean annual yield in nuts—mean of 11 seasons);

$$r = 0,7 ***; y = 0,86 x - 26,28.$$

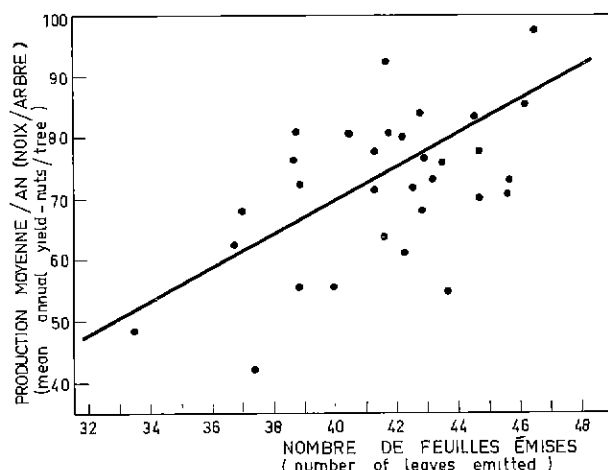


FIG. 5. — PB-CC 3 — Relation croissance-production : corrélation entre le nombre de feuilles émises en 67 mois depuis la plantation et la production moyenne annuelle en noix, moyenne sur 11 campagnes (Growth-yield relationship : correlation between the number of leaves emitted in 67 months from planting and mean annual yield in nuts—mean of 11 seasons);

$$r = 0,60 ***; y = 2,46 x - 30,36.$$

— production moyenne annuelle en nombre de noix/arbre et la circonférence au collet à 57 mois (Fig. 4) $r = 0,77 ***$

le nombre de feuilles émises en 67 mois (Fig. 5) $r = 0,60 ***$

— production moyenne annuelle en coprah/arbre et la circonférence au collet à 57 mois (Fig. 6) $r = 0,75 ***$

le nombre de feuilles émises à 67 mois (Fig. 7) $r = 0,54 **$,

montrent que l'amélioration de la croissance dans le jeune âge se traduit par une augmentation de la production.

En cas de déficience, la fumure minérale est donc indispensable dès le jeune âge.

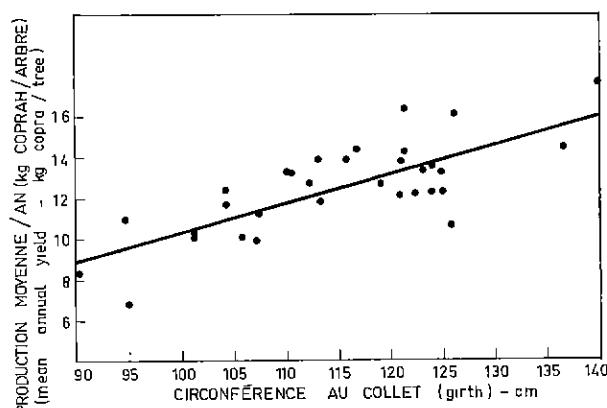


FIG. 6. — PB-CC 3 — Relation croissance-production : corrélation entre la circonférence au collet à 57 mois et la production moyenne annuelle en coprah — moyenne de 11 campagnes (Growth-yield relationship : correlation between girth at 57 months and mean annual yield in copra—mean of 11 seasons);

$$r = 0,75 ***; y = 0,14 x - 3,78.$$

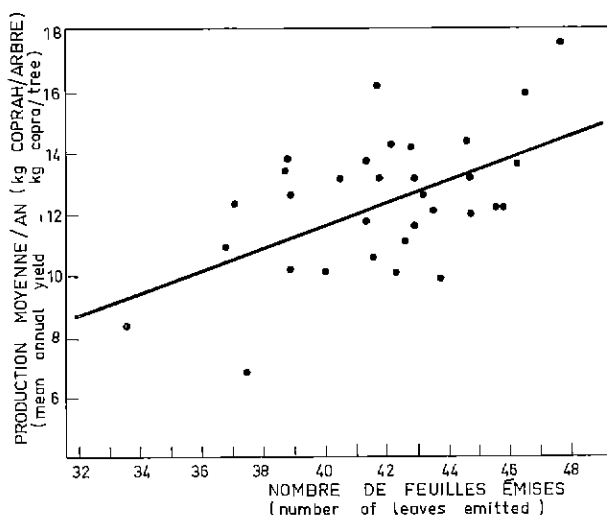


FIG. 7. — PB-CC 3 — Relation croissance-production : corrélation entre le nombre de feuilles émises en 67 mois depuis la plantation et la production moyenne annuelle en coprah — moyenne sur 11 campagnes (Growth-yield relationship : correlation between the number of leaves emitted in 67 months from planting and mean annual yield in copra—mean of 11 seasons);

$$r = 0,54 **; y = 0,37 x - 3,16.$$

L'effet des engrais sur la croissance se retrouve également chez les hybrides, la fumure potassique ayant, en Côte-d'Ivoire, une forte action sur le diamètre au collet des plants.

d) Relations avec les autres éléments.

L'étude du potassium a mis en évidence les antagonismes existant entre K-Ca, K-Mg et K-Na. La liaison entre K et Mg est cependant beaucoup plus étroite que celle existant dans les deux autres couples.

C'est en 1955 que l'I. R. H. O. a montré l'existence d'une relation générale entre K et Mg. L'application de fortes doses de chlorure de potassium peut induire une forte carence en magnésium. Le tableau ci-dessous est tiré d'un essai datant de 1955 ; l'application massive de potassium montre une chute très importante des trois cations Ca, Mg et Na.

| Application par arbre en 1955 | Teneurs en février 1957 | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------|------|--------------|--------------|--------------|
| | N | P | K | Ca | Mg | Na |
| Témoin (PB-CC 1) | 1,80 | 0,091 | 0,20 | 0,495 | 0,567 | 0,166 |
| 5 kg KCl ... | 1,75 | 0,097 | 0,98 | 0,507 | 0,188 | 0,294 |
| 10 kg KCl ... | 1,74 | 0,094 | 1,38 | 0,401 | 0,159 | 0,234 |
| 15 kg KCl ... | 1,74 | 0,097 | 1,55 | 0,392 | 0,125 | 0,181 |

En 1961, on pense qu'il existe un synergisme pour les faibles teneurs en K et un antagonisme pour les teneurs les plus élevées.

En 1970, Brunin [43], travaillant sur matériel Grand, constate que pour des niveaux de K compris entre 0,7 et 1,2, l'application de doses élevées de fumure magnésienne diminue significativement les niveaux de K. Cependant, le même auteur conclut, par l'observation d'autres expériences, que s'il existe une très bonne relation entre la teneur en magnésium dans les feuilles et la production ($r = 0,616^{***}$), le supplément de production que l'on peut attendre d'une fumure magnésienne si les teneurs en cet élément sont inférieures au niveau critique, ne surviendra qu'une fois la déficience potassique corrigée.

Coomans [44] en 1977, sur hybride, note la forte induction de carence en magnésium provoquée par les apports d'engrais potassiques. Par contre, la fumure magnésienne n'a aucun effet sur les teneurs en potassium dans les feuilles. L'action du potassium est prépondérante et l'effet du magnésium ne se manifeste qu'en présence du potassium.

En 1978, l'I. R. H. O. a poursuivi l'étude de l'interaction K-Mg sur l'hybride P-B 121 dans l'expérience PB-CC 16. Les résultats obtenus dans cette expérience sont d'autant plus crédibles que les observations portent sur 4 années de production.

Production cumulée de coprah/arbre
de décembre 1974 à juillet 1978

| | Mg0 | Mg1 | Mg2 | Effet principal de K p. 100 | |
|--------------------------------|------|---------|---------|--------------------------------|-----|
| K0 | 33,0 | 32,6 | 32,9 | 32,8 | 100 |
| K1 | 66,6 | 77,4 | 75,0 | 73,0 ** | 223 |
| K2 | 41,0 | 88,1 | 88,7 | 72,6 ** | 221 |
| Effet principal de Mg | 46,9 | 66,0 ** | 65,5 ** | | |
| p. 100 | 100 | 141 | 139 | | |

A la différence du potassium qui agit à la fois sur le nombre de noix et le coprah/noix, l'action du magnésium porte uniquement sur le nombre de noix/arbre ; elle est nulle sur le coprah/noix.

L'étude des relations entre les niveaux de nutrition et la production annuelle en coprah/arbre a montré l'action prépondérante du potassium ($r = 0,72^{**}$, campagne 1976-1977) et l'absence de corrélation entre les teneurs en magnésium et la production ; c'est seulement à niveau de K constant que la corrélation partielle, teneurs en Mg/production devient significative ($r = 0,52^{***}$) ; ce résultat confirme ceux de Brunin et Coomans car c'est seulement en corrigeant la déficience potas-

sique (niveau supérieur à 1 p. 100 de potassium) que la fumure magnésienne a une action positive sur la production.

Dans les conditions de fertilité des sols de Côte-d'Ivoire, les travaux conduits par l'I. R. H. O. ont permis de déterminer le niveau de production maximal de l'hybride P-B 121 en tenant compte de l'effet combiné du chlorure de potassium et de la kiésérite.

A cette production maximale correspondent des niveaux critiques de 1,4 pour le potassium, et 0,20 pour le magnésium.

e) Evolution du niveau critique.

La valeur du niveau critique du potassium a été révisée à plusieurs reprises au fur et à mesure du développement de l'expérimentation.

L'interprétation de l'expérience PB-CC 1 a permis de retenir un niveau critique voisin de 0,45. Ce niveau tenait compte des meilleurs rendements obtenus à cette époque avec du matériel Grand implanté sur des sols sableux de fertilité médiocre. En 1962, à la suite des derniers résultats obtenus dans la même expérience, le niveau critique est porté à 0,8-1,0 p. 100 de matière sèche.

Dans d'autres régions, plusieurs chercheurs se sont attachés à déterminer les niveaux critiques et à les comparer à ceux de l'I. R. H. O. Kanapathy [39] trouve une bonne concordance entre les niveaux définis par l'I. R. H. O. et les observations réalisées en Malaisie, tant sur la variété naine que sur les Grands. Aux Philippines, Magat [33] n'émet pas d'objection sur le niveau critique de K mais fait des réserves sur ceux de Ca et Mg, définis par l'I. R. H. O., respectivement de 0,50 et 0,30 donnés initialement, qui ne sont pas applicables à toutes les situations.

Pour le magnésium, l'observation de Magat est en accord avec les dernières publications de l'I. R. H. O. qui donne un niveau critique compris entre 0,20 et 0,24, niveau déterminé à partir des résultats obtenus dans l'expérience PB-CC 16.

4. — Calcium.

Le calcium est un élément peu mobile ; il joue un rôle dans la formation des parois cellulaires (insolubilisation des acides pectiques), dans l'élasticité des cellules au cours de leur allongement et dans des actions enzymatiques.

Les symptômes visuels de déficience en calcium sont apparus en 1979 avec des teneurs en Ca inférieures à 0,100 dans l'expérience DA-CC3 de Côte d'Ivoire étudiant une fumure minérale N,K et Mg sur Nain jaune de Malaisie. Les extrémités des folioles jaunissent. Des taches annulaires jaune orangé s'étendent sur les folioles, se nécrosent, brunissent ; la feuille se dessèche entièrement. Les symptômes peuvent atteindre les feuilles intermédiaires avant les plus âgées.

Pour le calcium, le niveau critique retenu de 0,50 n'a jamais été déterminé par l'expérimentation ; il correspond plutôt à un niveau d'équilibre observé lorsque les autres cations, potassium et magnésium, sont proches de leur niveau optimal (niveau critique). Des valeurs très inférieures ne paraissent pas avoir de conséquence sur les rendements. Ainsi, une expérience réalisée en Malaisie (United Plantations Berhad) sur cocotiers Nains, dans une gamme de teneurs de 0,3 n'a pas donné de résultats.

Magat [33] en 1975 avait déjà fait la même observation et considérait que des niveaux de 0,33 à 0,35 pouvaient être considérés comme convenables.

Dans l'expérience PB-CC 23 de Côte-d'Ivoire sur Grand, l'application de calcium sous forme de carbonate de calcium à 50 p. 100 de CaO pendant 4 années consécutives n'a jamais modifié les teneurs en Ca des feuilles (variations inférieures à 2 p. 100) et n'a eu d'influence sur la production.

Le tableau X, qui donne les teneurs en calcium dans les différentes expériences étudiées, montre des niveaux variant de 0,20 à 0,40 pour les arbres adultes, des teneurs de 0,50 étant atteintes dans les sols coralliens. Au jeune âge, les niveaux peuvent être inférieurs à 0,20 [Coomans, 44] et montrer les symptômes caractéristiques de la déficience pour les niveaux les plus faibles.

Les teneurs en calcium sont augmentées sensiblement par des applications d'engrais azotés ou d'engrais phosphatés. La fumure potassique a plutôt tendance à diminuer les teneurs en calcium.

En conclusion, un niveau de 0,30 à 0,40 p. 100 de matière sèche en calcium pour la feuille de rang 14 est convenable et il ne faut pas s'attendre à des augmentations de développement ou de rendement par des applications d'engrais calciques.

TABLEAU X. — Action des engrais sur la teneur en Ca de la feuille
(Action of fertilizers on Ca level in the leaf)

| Pays (Country) | Expérience (Experiment) | Rang de la feuille (Leaf rank) | Effet Ne teneurs en Caf (Effect of Ne on Caf levels) (—) N | | Effet Pe teneurs en Caf (Effect of Pe on Caf levels) (—) P | | Effet Ke teneurs en Caf (Effect of Ke on Caf levels) (—) K | | Effet Mge teneurs en Caf (Effect of Mge on Caf levels) (—) Mg | | Effet Ca teneurs en Caf (Effect of Ca on Caf levels) (—) Ca | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|-----------------|--|-----------------|--|----------|---|----------|---|-------|
| GRANDS (TALLS) | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 1 | 14 | 0,440 | 0,468 | 0,427 | 0,482 * | 0,478 | 0,427 | 0,478 | 0,431 ** | 0,523 | 0,517 |
| | PB-CC 3 (1969) | 14 | 0,539 | 0,586 ** | 0,532 | 0,573 | 0,563 | 0,661 | 0,571 | 0,553 | | |
| | (1970) | 14 | 0,447 | 0,465 | 0,432 | 0,480 ** | 0,446 | 0,466 | 0,464 | 0,448 | | |
| | PB-CC 23 | 14 | | | | | 0,559 | 0,482 | 0,510 | 0,507 | | |
| | DA-CC 1 | 14 | 0,208 | 0,183 * | | | 0,207 | 0,167 ** | 0,181 | 0,193 | | |
| Nouvelles-Hébrides (New Hebrides) | NH-CC 6 | 14 | 0,505 | 0,513 | 0,504 | 0,494 | 0,480 | 0,531 ** | | | | |
| | NH-CC 8 | 14 | 0,531 | 0,518 | 0,512 | 0,528 | 0,485 | 0,537 * | | | | |
| Mozambique | MP-CC 1 | 14 | 0,363 | 0,437 * | | | 0,416 | 0,443 | | | | |
| Madagascar | SB-CC 3 | | | | | | | | | | | |
| | sans (no) KCl avec (with) KCl | 9 9 | 0,17 0,20 | 0,19 ** 0,22 | 0,16 0,19 | 0,20 ** 0,20 | | | | | | |
| HYBRIDES | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 16 | | | | | | | | | | | |
| | 25 mois (months) | 4 | 0,26 | 0,26 | 0,23 | 0,27 ** | 0,32 | 0,21 ** | 0,28 | 0,23 * | | |
| | 5 ans (years) | 4 | 0,24 | 0,25 | 0,20 | 0,28 ** | 0,29 | 0,19 ** | 0,25 | 0,22 | | |
| | 6 ans (years) | 9 | 0,31 | 0,30 | 0,29 | 0,33 | 0,37 | 0,25 ** | 0,31 | 0,30 | | |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,30 | 0,30 | 0,26 | 0,33 ** | 0,38 | 0,24 ** | 0,29 | 0,30 | | |
| | PB-CC 18 | | | | | | | | | | | |
| | 31 mois (months) | 4 | 0,18 | 0,21 * | | | 0,21 | 0,18 * | 0,20 | 0,19 | | |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,265 | 0,303 * | | | 0,299 | 0,269 | 0,289 | 0,279 | | |
| | PB-CC 31 | 14 | 0,263 | 0,302 | | | 0,315 | 0,257 ** | 0,308 | 0,284 | | |
| | PB-CC 39 | 4 | 0,408 | 0,484 * | 0,444 | 0,448 | 0,495 | 0,397 ** | 0,448 | 0,444 | | |
| | DA-CC 2 | 4 | | | | | 0,167 | 0,116 ** | | | | |
| Indonésie (Indonesia) | PNP X | 4 | 0,29 | 0,31 | 0,30 | 0,31 | 0,29 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | | |
| Philippines | PH-CC 8 | 4 | 0,39 | 0,43 ** | | | 0,41 | 0,41 | 0,42 | 0,41 | | |
| Jamaïque (Jamaica) | F/13 | 14 | 0,42 | 0,44 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,47 | | | | |
| | F/14 | 14 | 0,54 | 0,60 | 0,55 | 0,59 | 0,57 | 0,56 | | | | |
| NAINS (DWARFS) | | | | | | | | | | | | |
| Philippines | BK-CC 6 | 4 | 0,53 | 0,53 | 0,55 | 0,53 | 0,57 | 0,51 | 0,54 | 0,53 | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | DA-CC 3 | 4 | 0,120 | 0,116 | 0,180 | 0,129 * | 0,127 | 0,108 | 0,118 | 0,111 | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Jamaïque (Jamaica) | F/9 | 14 | 0,52 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,48 | | |

5. — Magnésium.

Le magnésium intervient dans la physiologie de la plante en tant que constituant de la chlorophylle.

Le niveau critique de la feuille de rang 14 est de 0,24 pour les variétés de Grands. Pour les hybrides, le niveau n'a pas été définitivement arrêté pour la période de production maximale ; dans les premières années de mise à fruits, l'expérimentation a permis de retenir un niveau critique de 0,20.

a) Symptômes de déficiences.

Les symptômes visuels sont caractérisés par une décoloration jaune des folioles des feuilles les plus âgées, allant des extrémités vers le rachis de la feuille. Cette décoloration est accentuée sur les parties exposées au soleil, les zones ombrées restant plus vertes.

En cas de carence assez forte, la foliole est presque dépourvue de toute pigmentation mais les parties des folioles situées près du rachis demeurent vertes.

Lorsque la déficience s'aggrave, on observe une nécrose de l'extrémité des folioles qui prennent alors une teinte rouge-brun caractéristique, tandis que l'on peut déceler la présence de taches translucides sur les folioles jaunes décolorées.

Au champ, lorsque les niveaux de magnésium sont marginaux, il n'est pas rare de constater des symptômes visuels de déficience magnésienne sur la ligne de bordure de la plantation, le feuillage exposé au soleil extériorisant plus nettement cette déficience. Ce phénomène est plus accentué sur les Nains Rouges et les Nains Jaunes que sur les hybrides ou les Grands.

Des observations récentes entreprises dans l'expérience PB-CC 16 de Côte-d'Ivoire montrent qu'il existe une bonne relation entre les niveaux de magnésium (F 14) et le nombre de feuilles

vertes présentes dans la couronne, une fois la carence potassique corrigée. Dans le cas de l'hybride P-B 121, pour des teneurs inférieures à 0,110 en Mg le nombre de feuilles vertes est inférieur à 12 ; il est compris entre 13 et 30 feuilles pour des niveaux de 0,110 à 0,170, et supérieur à 30 feuilles pour des valeurs de Mg plus élevées que 0,170.

b) Causes.

La carence en magnésium peut apparaître sur les sols pauvres en cet élément mais chez le cocotier elle est fréquemment provoquée par des apports importants de potassium. Cette sensibilité à la déficience magnésienne induite est d'ailleurs beaucoup plus importante chez le cocotier Nain (le Nain Rouge et le Nain Jaune étant les plus sensibles). Elle se retrouve en partie chez l'hybride de Nain × Grand [44].

Avant l'apparition du cocotier hybride, les déficiences magnésiennes n'étaient pas fréquemment observées, les sols disposant d'une réserve suffisante pour faire face à la production relativement modeste du Grand, la fumure potassique restant elle-même limitée à de faibles niveaux.

On connaît cependant des déficiences en magnésium sur les variétés traditionnelles en Côte-d'Ivoire, au Sri Lanka, en Inde où les teneurs en magnésium dans la feuille 14 peuvent atteindre des niveaux de 0,100 à 0,140.

Les déficiences en magnésium sont plus spectaculaires chez les hybrides Nains × Grands où les doses élevées de fumure potassique, indispensables pour compenser les exportations dues aux fortes productions, tendent à induire une carence magnésienne par le jeu de l'antagonisme entre K et Mg.

Le tableau XI met nettement en valeur cet effet de la fumure potassique sur les niveaux de magnésium qui sont fortement déprimés.

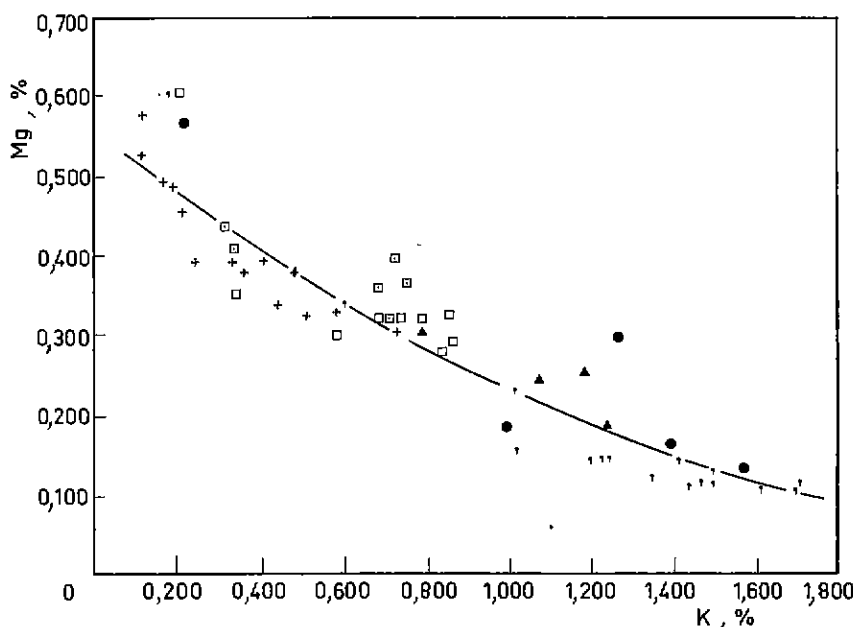
| Pays (Country) | Expérience (Experiment) | Rang de la feuille (Leaf rank) | Effet des engrais sur la teneur en Mg de la feuille (Effect of fertilizers on Mg level of leaf) | | | | | Effets des engrais magnésiens sur : (Effect of magnesium fertilizers on :) | | | | | | |
|--------------------------------------|---|--|--|--|--|--|----------------|---|-------|--|----------------------------|--|---|-----|
| | | | Effet des engrais sur la teneur en Mg de la feuille (Effect of fertilizers on Mg level of leaf) | | | | | la production (yield) | | | | | la croissance (growth) | |
| | | | Effet Mg/ teneurs en Mg/ (Effect of Mg/ on Mg levels) | Effet Ne/ teneurs en Mg/ (Effect of Ne/ on Mg levels) | Effet Pe/ teneurs en Mg/ (Effect of Pe/ on Mg levels) | Effet Ke/ teneurs en Mg/ (Effect of Ke/ on Mg levels) | N | P | K | Nbre de noix arbré/an (No. nuts/tree/ year) | Coprah/noix (Copra/nut) | Coprah total/ arbré/an (Total copra/ tree/year) | Circonférence au collet (Girth) cm | |
| (-) | Mg | (-) | N | (-) | P | (-) | K | (-) | Mg | (-) | Mg | (-) | Mg | |
| GRANDS (TALLS) | | | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 1 | 14 | 0,321 | 0,399 ** | 0,398 | 0,322 * | 0,365 | 0,355 | 0,520 | 0,289 ** | 47,7 | 46,3 | 144 | 196 |
| | PB-CC 3 (1964) | 14 | 0,391 | 0,423 ** | 0,404 | 0,360 * | 0,372 | 0,392 ** | 0,405 | 0,358 * | 50,7 | 57,4 * | 192 | 193 |
| | (1970) | 14 | 0,330 | 0,341 | 0,393 | 0,318 * | 0,316 | 0,355 | 0,330 | 0,341 | 68,0 | 73,2 | 205 | 205 |
| | PB-CC 23 | 14 | 0,288 | 0,398 ** | 0,216 | 0,182 * | | | 0,370 | 0,312 | 38,3 | 56,6 | | |
| | DA-CC 1 | 14 | 0,116 | 0,274 ** | 0,285 | 0,281 | 0,289 | 0,287 | 0,221 | 0,164 * | 44,0 | 55,4 | | |
| Nouvelles-Hébrides (New Hebrides) | NH-CC 6 | 14 | | | 0,285 | 0,281 | 0,289 | 0,287 | 0,309 | 0,278 ** | | | | |
| | NH-CC 8 | 14 | | | 0,284 | 0,290 | 0,292 | 0,290 | 0,293 | 0,283 | | | | |
| Mozambique | MP-CC 1 | 14 | | | 0,333 | 0,314 | | | 0,358 | 0,300 ** | | | | |
| Madagascar | SB-CC 3 sans (no) KCl avec (with) KCl | 9 9 | | | 0,252 0,241 | 0,265 0,257 | 0,178 0,178 | 0,331 ** 0,302 ** | | | | | | |
| HYBRIDES | | | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 16 | 4 | 0,182 | 0,321 ** | 0,253 | 0,251 | 0,250 | 0,254 | 0,336 | 0,192 ** | 10,9 | 12,9 | 236 | 234 |
| | 25 mois (months) | 4 | 0,219 | 0,298 ** | 0,264 | 0,266 | 0,264 | 0,261 | 0,305 | 0,230 ** | 66,6 | 95,5 ** | 218 | 224 |
| | 5 ans (years) | 9 | 0,142 | 0,254 ** | 0,202 | 0,204 | 0,202 | 0,199 | 0,213 | 0,137 ** | 45,5 | 71,2 ** | | |
| | 6 ans (years) | 14 | 0,098 | 0,229 ** | 0,167 | 0,166 | 0,164 | 0,167 | 0,308 | 0,256 ** | 80,7 | 84,1 | 231 | 236 |
| | 8 ans (years) | 4 | 0,293 | 0,321 ** | 0,272 | 0,292 * | | | 0,180 | 0,166 * | | | | |
| | 31 mois (months) | 14 | 0,134 | 0,212 ** | 0,160 | 0,186 * | | | 0,251 | 0,208 * | | | | |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,151 | 0,284 ** | 0,229 | 0,224 | 0,230 | 0,238 | 0,265 | 0,205 ** | | | | |
| | PB-CC 31 | 4 | 0,199 | 0,269 ** | 0,237 | 0,231 | | | 0,337 | 0,243 ** | | | | |
| | PB-CC 39 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | DA-CC 2 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| Indonésie (Indonesia) | PNP X | 4 | 0,219 | 0,218 | 0,216 | 0,216 | 0,216 | 0,221 | 0,225 | 0,221 | | | | |
| Philippines | PH-CC 8 | 4 | 0,273 | 0,270 | 0,265 | 0,275 | | | 0,268 | 0,263 | | | | |
| Jamaïque (Jamaica) | F/13 F/14 | 14 14 | | | pas d'analyse 0,31 | 0,29 | 0,32 | 0,29 | 0,33 | 0,39 ** | | | | |
| NAINS (DWARFS) | | | | | | | | | | | | | | |
| Philippines | BK-CC 6 | 4 | 0,234 | 0,256 | 0,251 | 0,257 | 0,249 | 0,252 | 0,286 | 0,221 ** | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | DA-CC 3 | 4 | 0,140 | 0,198 ** | 0,198 | 0,151 * | 0,166 | 0,179 | 0,182 | 0,163 | | | | |
| Jamaïque (Jamaica) | F/9 | 14 | 0,32 | 0,36 | 0,31 | 0,37 | 0,33 | 0 | | | | | | |

c) Correction par les fumures minérales.

L'application d'un engrais magnésien, en général de la kiéserite, corrige bien la déficience magnésienne. L'absorption du magnésium se traduit par un reverdissement de l'appareil foliaire, une augmentation des teneurs en magnésium dans les feuilles et une action significative sur la croissance du plant ou la production lorsque la déficience en potassium est comblée.

L'I. R. H. O. a montré que l'effet principal du magnésium sur la production pouvait atteindre 40 p. 100, mais qu'il ne se produisait qu'en présence de chlorure de potassium.

FIG. 8. — Relation entre les teneurs en K et Mg sur cocotiers en production — feuille de rang 14 (Relationship between K and Mg levels on bearing coconuts — leaf rank 14).



- ● : 5, 10, 15 kg — PB, doses massives (high rates) KCl
- + : PB-CC 1
- □ : PB-CC 3
- ▲ : PB-CC 4
- † : PB-CC 11.

6. — Sodium.

Le sodium n'est pas réellement indispensable mais on sait qu'il peut, dans une certaine mesure, se substituer au potassium lorsque ce dernier est déficient.

Le sodium est favorable à la croissance de certaines plantes (O. W. Lunt) et Harmer classe le cocotier, sur la base des renseignements disponibles dans la littérature, dans la catégorie des plantes qui ont une réponse modérée au sodium, même lorsque la fourniture de potassium est large.

Le niveau critique du sodium n'a pas été déterminé expérimentalement faute d'expériences répondant à l'apport de cet élément. Le niveau de 0,40 relégué antérieurement doit être pris comme un ordre de grandeur, bien que des cocotiers ayant une très bonne production aient des niveaux en sodium inférieurs à 0,100.

Des planteurs (Java, Inde, Colombie) effectuent des applications de chlorure de sodium. Ils pensent que le sodium favorise la production du cocotier, des applications de NaCl ayant provoqué des augmentations de production. Cette affirmation n'est basée sur aucune preuve scientifique et on peut penser que, le sodium étant apporté sous forme de chlorure, l'augmentation de production est due au chlore (cf. chap. Chlore).

L'expérience factorielle DA-CC 2 de type $3 \times 3 \times 2$, de Côte-d'Ivoire, étudie le sodium à trois niveaux. Si les niveaux du sodium sont significativement augmentés et passent de 0,339 à 0,511 ** pour une feuille de rang 4, ceci ne se traduit pas par un effet sur le développement, la circonférence au collet étant de 102 cm pour les traitements ne recevant pas d'engrais et 103 cm pour les traitements fumés avec du sodium.

Le tableau XII montre les relations existant avec les autres éléments appliqués. Seule, la fumure potassique déprime fortement les teneurs en sodium.

Dans l'étude de l'irrigation de cocotiers à l'eau salée [45] Pomier montre qu'en utilisant une eau dont la salinité atteint la moitié de celle de l'eau de mer, il double les niveaux de sodium dans les feuilles, qui passent de 0,066 pour les non arrosés à 0,135 pour les irrigués, les niveaux de Mg et de Cl étant parallèlement relevés.

d) Relations avec les autres éléments.

Dans les sols sableux du littoral, l'apport d'un engrais azoté déprime assez souvent les niveaux de magnésium. Par contre, le phosphore augmente la teneur en magnésium dans les feuilles.

L'action la plus spectaculaire est celle de la fumure potassique qui diminue toujours les teneurs en magnésium. Il faut apporter un soin particulier à l'élaboration d'un programme de fumure, la déficience magnésienne induite par une forte fertilisation potassique pouvant réduire la production de 40 p. 100.

Nous avons déjà vu dans le chapitre concernant l'étude du potassium qu'il existait une liaison étroite entre les niveaux de potassium et de magnésium. La figure 8 exprime bien l'intensité de cette liaison.

7. — Chlore.

Bien que le chlore soit contenu en quantité notable dans les tissus végétaux : 0,05 à plus de 1,0 p. 100, il a été considéré comme un élément sans importance spécifique jusqu'à ce que Broyer (1954) démontre sans ambiguïté son caractère d'élément indispensable à la nutrition des plantes cultivées.

Dans le domaine des oléagineux tropicaux, il n'existait pas de travaux particuliers sur le chlore avant que son importance soit mise en évidence en 1970 sur le palmier à huile, grâce aux difficultés d'interprétation d'une expérience d'engrais mise en place par l'I. R. H. O. en Colombie [Ollagnier et Ochs, 1971, 46].

Il est maintenant possible de montrer que dans les sols d'origine alluviale ou volcanique récents, souvent caractérisés par des teneurs en bases échangeables élevées (5 à 10 m \equiv , dont 0,3 à 1 de potassium), on observe au niveau des feuilles les relations suivantes entre Ca^{++} , K^+ et Cl^- sous l'effet de l'apport de chlorure de potassium (ou de chlorures) :

- l'absorption de Cl entraîne une absorption parallèle de Ca ;
- l'absorption de Ca entraîne des baisses de K depuis des valeurs très supérieures au niveau critique jusqu'à des valeurs proches, ou un peu supérieures ;

Le cocotier paraît se conformer à ce schéma général. L'analyse des essais de Magat [1978] en apporte, par exemple, une excellente démonstration (notamment essais 1, 2, 4, 5 aux Philippines).

Au début des recherches, nous tentions surtout à mettre en évidence un rôle spécifique du chlore sur la nutrition et la production du palmier à huile et du cocotier, aussi tenu soit-il, et à démontrer que le cocotier n'était pas toujours une « potash loving crop » lorsque ses rendements répondaient à l'application de chlorure de potassium. Ce point pouvait, en effet, avoir une importance sur le plan économique car, si l'on démontrait que sur certains sols riches en potassium l'accroissement de rendement obtenu par les applications de KCl était dû en totalité à Cl, on pouvait alors avoir recours à des formes d'engrais inhabituelles lorsqu'on se trouvait en présence de doubles déficiences (chlorure d'ammonium pour les déficiences en N et Cl, chlorure de magnésium pour les déficiences en Mg et Cl).

Les résultats des 10 dernières années ont, d'une façon générale, totalement confirmé les hypothèses de départ et l'on peut même dire que certains résultats expérimentaux sur le plan

TABLEAU XII. — Action des engrais sur la teneur en Na de la feuille
(Action of fertilizers on the Na level in the leaf)

| Pays (Country) | Expérience (Experiment) | Rang feuille (Leaf rank) | Effet Ne/ teneurs en Naf (Effect of Ne on Naf levels) (—) N | | Effet Pe/ teneurs en Naf (Effect of Pe on Naf levels) (—) P | | Effet Ke/ teneurs en Naf (Effect of Ke on Naf levels) (—) K | | Effet Mge/ teneurs en Naf (Effect of Mge on Naf levels) (—) Mg | |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|---|----------------|---|-------------------|---|----------|--|---------|
| GRANDS (TALLS) | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 1 | 14 | 0,271 | 0,267 | 0,267 | 0,272 | 0,163 | 0,293 * | 0,282 | 0,256 * |
| | PB-CC 3 (1964) | 14 | 0,331 | 0,317 | 0,325 | 0,324 | 0,333 | 0,346 | 0,336 | 0,312 |
| | (1970) | 14 | 0,341 | 0,337 | 0,327 | 0,351 | 0,347 | 0,331 | 0,355 | 0,323 * |
| | PB-CC 23 | 14 | | | | | 0,085 | 0,045 ** | 0,070 | 0,067 |
| | DA-CC 1 | 14 | 0,254 | 0,269 | | | 0,322 | 0,207 ** | 0,258 | 0,256 |
| Nouvelles Hébrides (New Hebrides) | NH-CC 6 | 14 | 0,175 | 0,174 | 0,169 | 0,168 | 0,178 | 0,156 | | |
| | NH-CC 8 | 14 | 0,159 | 0,173 | 0,168 | 0,161 | 0,200 | 0,140 * | | |
| Mozambique | MP-CC 1 | 14 | 0,113 | 0,164 | | | 0,176 | 0,164 | | |
| Madagascar | SB-CC 3 | | | | | | | | | |
| | sans (no) KCl avec (with) KCl | 9 9 | 0,264 0,169 | 0,242 0,170 | 0,260 0,161 | 0,227 ** 0,176 | | | | |
| HYBRIDES | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 16 | | | | | | | | | |
| | 25 mois (months) | 4 | 0,096 | 0,088 | 0,090 | 0,088 | 0,161 | 0,048 ** | 0,103 | 0,081 * |
| | 5 ans (years) | 4 | 0,049 | 0,053 | 0,048 | 0,055 | 0,082 | 0,034 ** | 0,054 | 0,048 |
| | 6 ans (years) | 9 | 0,074 | 0,068 | 0,069 | 0,075 | 0,099 | 0,054 ** | 0,076 | 0,068 |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,081 | 0,083 | 0,084 | 0,087 | 0,102 | 0,074 ** | 0,090 | 0,084 |
| | PB-CC 18 | | | | | | | | | |
| | 31 mois (months) | 4 | 0,105 | 0,077 | | | 0,101 | 0,081 | 0,107 | 0,075 |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,072 | 0,070 | | | 0,075 | 0,067 | 0,069 | 0,073 |
| | PB-CC 31 | 14 | 0,090 | 0,084 | | | 0,090 | 0,080 * | 0,092 | 0,080 |
| | PB-CC 39 | 4 | 0,036 | 0,039 | 0,040 | 0,035 | 0,034 | 0,042 | 0,040 | 0,036 |
| | DA-CC 2 | 4 | | | | | 0,554 | 0,221 ** | | |
| Indonésie (Indonesia) | PNP X | 4 | 0,148 | 0,149 | 0,154 | 0,148 | 0,163 | 0,139 * | 0,149 | 0,148 |
| Philippines | PH-CC 8 | 4 | 0,034 | 0,039 | | | 0,041 | 0,031 | 0,035 | 0,035 |
| Jamaïque (Jamaica) | F/13 | 14 | 0,35 | 0,38 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,33 | | |
| | F/14 | 14 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,30 | 0,37 ** | | |
| NAINS (DWARFS) | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | DA-CC 3 | 4 | 0,049 | 0,050 | 0,048 | 0,056 * | 0,053 | 0,050 | 0,054 | 0,050 |
| Jamaïque (Jamaica) | F/9 | 14 | 0,38 | 0,40 | 0,40 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,39 |

pratique, aux Philippines, ont très souvent une portée économique certaine : accroissement du coprah/noix de 10 à 20 p. 100, accroissement du nombre de noix de 50 à 100 p. 100.

Le mécanisme de cette action reste à expliquer ; une opération conjointe de recherche I. R. H. O./P. C. A. étudie actuellement en France s'il se situe au niveau de la photosynthèse [Arnon, 47].

a) Symptômes de déficiences.

Selon Von Uexkull [48] la « déficience en chlore se manifeste par un jaunissement et (ou) des taches oranges sur les feuilles plus âgées, ainsi que par un dessèchement des marges et des extrémités des folioles — symptôme très semblable à celui de la déficience en potassium — mais ceci nécessiterait ultérieurement une vérification ».

La taille des noix est également un symptôme pouvant caractériser la déficience en chlore. Les noix des cocotiers carencés en chlore sont plus petites que celles des arbres bien pourvus en cet élément.

b) Causes.

La richesse d'un sol en chlore dépend essentiellement des apports par les pluies. La totalité du chlore assimilable par les plantes est contenu dans les solutions du sol et celles-ci sont constamment renouvelées par la pluviométrie.

La quantité de chlore présente dans le sol est donc fonction de la richesse des pluies en cet élément. L'eau de mer est une bonne source de chlore. Les sols du littoral sont souvent plus riches en chlore que les terres de l'intérieur.

L'apport annuel de chlore, d'après Brikson varierait de cinq à plusieurs centaines de kg/ha [12]. Des mesures effectuées par l'I. R. H. O. montrent que les apports annuels dans la zone de l'expérience PB-CC 16, déjà citée, sont de l'ordre de 25 kg ; or, les exportations déterminées par Ouvrier et Ochs dans cette même région sont de 249 kg de chlore par ha pour une cocoteraie hybride produisant 6,7 t de coprah dans l'année. Si les exportations ne sont plus compensées, une déficience chlorée peut apparaître à plus ou moins brève échéance.

Cette observation est d'autant plus importante que les cocotiers hybrides, qui produisent 4 à 6 fois plus que le Grand, exporteront aussi 4 à 6 fois plus d'éléments minéraux.

c) Correction par les fumures minérales.

Dès 1971, Ollagnier et Ochs [46] soupçonnent le chlore d'être responsable des augmentations de production dans une expérience factorielle DA-CC 1 de Côte-d'Ivoire, étudiant les effets de l'urée, du chlorure de potassium et de la kiesérite à trois niveaux et du chlorure de sodium à deux niveaux (subdivision des parcelles), car l'accroissement des rendements ne s'explique pas par le relèvement des teneurs en sodium ou en potassium, même si un léger effet du potassium est observable. La figure 9 montre que la production en nombre de noix/arbre augmente en même temps que les niveaux de chlore.

En 1972, Von Uexkull [48], aux Philippines, conclut à l'action positive du chlore sur la production. Dans un schéma expérimental 2^e, étudiant le chlorure de sodium, le sulfate d'ammonium, le phosphate bicalcique, le chlorure de potassium et le sulfate de magnésium, les productions sont augmentées de manière spectaculaire en présence de chlorure de potassium ; le potassium ne peut être tenu pour responsable puisque la corré-

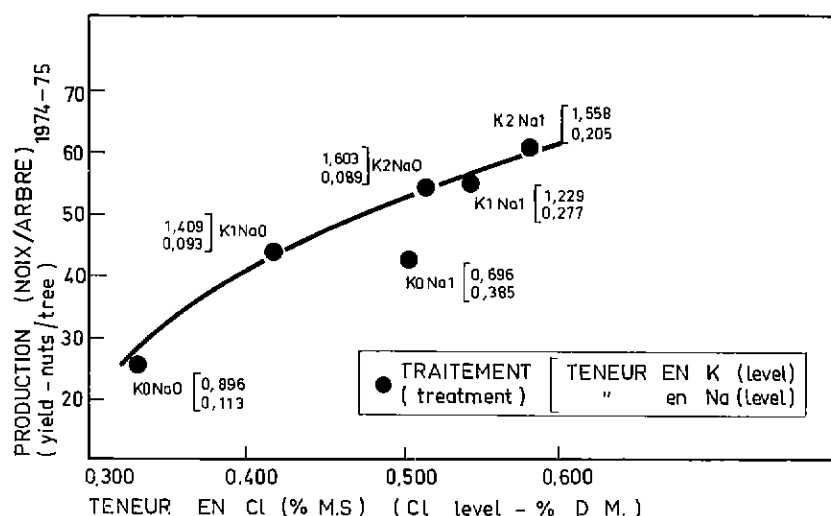


FIG. 9. — DA-CC 1 — Dabou — Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) — Relation entre la teneur en chlore — feuille rang 14 — et la production de noix (Relationship between Cl level — leaf rank 14 — and production of nuts).

lation rendement-teneurs en potassium des feuilles est négative. Par contre, la production est en corrélation étroite avec les niveaux de chlore. En présence de chlorure de sodium, il existe également une corrélation positive rendement-teneurs en chlore, les niveaux de sodium étant déprimés (Tabl. XIII).

Des résultats plus complets sont publiés par Magat *et al.* [49] en 1975 sur une expérience étudiant des doses croissantes de chlorure de potassium. L'engrais a une action positive et significative sur le coprah/arbre, qui passe de 28 kg dans le témoin à 55 kg dans le traitement recevant 3,33 kg de chlorure de potassium/arbre/an, correspondant ainsi à un doublement de la production. Pendant que les niveaux de potassium dans les feuilles n'évoluent pas et sont stabilisés à 1,7 et 1,8 p. 100 de matière sèche, donc bien supérieurs au niveau critique, les teneurs en chlore augmentent considérablement ; la moyenne des parcelles témoin est de 0,074, contre 0,534 ** aux parcelles recevant la plus forte dose de chlorure de potassium. La présence d'une très forte corrélation entre les teneurs en chlore et la production par arbre est indéniable. La fumure chlorée agit

simultanément sur le nombre de noix et sur le coprah/noix. D'après Magat, et dans les conditions de l'expérience conduite aux Philippines, l'augmentation du coprah/noix était de 35 p. 100 en 1975 (159 g pour le témoin contre 230 g pour les parcelles recevant du chlorure de potassium) et 56 p. 100 en 1976 (159 g pour le témoin contre 248 g pour les parcelles avec KCl. C'est un gain très important et un résultat tout à fait remarquable.

Cette action bénéfique du chlore sur les rendements se retrouve également sur la croissance et le développement de jeunes plants. Aux Nouvelles-Hébrides, Daniel et Manciot [40] sur jeunes cocotiers implantés sur sol volcanique argileux, dans une expérience factorielle de type $4 \times 4 \times 2$ étudiant le sulfate d'ammoniaque, le chlorure de potassium et le phosphate bicalcique, ont cherché les relations pouvant exister entre les teneurs en potassium et en chlore, et l'indice de vigueur, défini par une formule exprimant un volume du plant par l'intermédiaire de la circonférence au collet, de deux diamètres perpendiculaires de la projection sur le sol du feuillage et de la hauteur de l'extré-

TABLEAU XIII. — Action des engrais sur la teneur en Cl de la feuille
(Effect of fertilizers on the Cl level in the leaf)

| Pays (Country) | Expérience (Experiment) | Rang de la feuille (Leaf rank) | Effet Ne/ teneurs en Clf (Effect of Ne on Clf levels) (—) N | Effet Pe/ teneurs en Clf (Effect of Pe on Clf levels) (—) P | Effet Ke/ teneurs en Clf (Effect of Ke on Clf levels) (—) K | Effet Mge/ teneurs en Clf (Effect of Mge on Clf levels) (—) Mg | Effet Nae/ teneurs en Clf (Effect of Nae on Clf levels) (—) Na | Effet de (1) teneurs en Clf (Effect of (1) on Clf levels) (—) S | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|--|---|---|---|--|--|---|-------|-------|-------|----------------|
| GRANDS (TALLS) | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 3 (1971) | 14 | 0,812 | 0,736 ** | 0,740 | 0,808 ** | 0,782 | 0,766 ** | 0,767 | 0,781 | 0,758 | 0,791 ** |
| | PB-CC 23 | 14 | | | | | 0,229 | 0,547 ** | 0,467 | 0,467 | | |
| | DA-CC 1 | 14 | 0,560 | 0,531 | | | 0,462 | 0,665 ** | 0,563 | 0,538 | | |
| Niles-Hébrides (New Hebrides) | NH-CC 6 | 14 | 0,432 | 0,442 | 0,423 | 0,435 | 0,373 | 0,484 ** | | | | |
| | NH-CC 8 | 14 | 0,411 | 0,447 ** | 0,451 | 0,423 * | 0,399 | 0,478 ** | | | | |
| Madagascar | SB-CC 3 | | | | | | | | | | | |
| | sans (no) KCl avec (with) KCl | 9 9 | 0,465 0,625 | 0,478 0,658 | 0,469 0,679 | 0,995 0,645 | | | | | | |
| HYBRIDES | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | PB-CC 16 | | | | | | | | | | | |
| | 25 mois (months) | 4 | 0,593 | 0,604 | 0,590 | 0,606 | 0,311 | 0,794 ** | 0,573 | 0,605 | | |
| | 5 ans (years) | 4 | 0,673 | 0,707 | 0,670 | 0,708 | 0,255 | 0,981 ** | 0,706 | 0,675 | | |
| | 6 ans (years) | 9 | 0,391 | 0,385 | 0,388 | 0,386 | 0,162 | 0,605 ** | 0,395 | 0,389 | | |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,417 | 0,427 | 0,425 | 0,433 | 0,238 | 0,627 ** | 0,436 | 0,428 | | |
| | PB-CC 18 | | | | | | | | | | | |
| | 31 mois (months) | 4 | 0,963 | 1,019 | | | 0,898 | 1,085 ** | 0,961 | 1,022 | | |
| | 8 ans (years) | 14 | 0,393 | 0,370 | | | 0,318 | 0,445 ** | 0,376 | 0,387 | | |
| | PB-CC 31 | 14 | 0,634 | 0,476 ** | | | 0,482 | 0,611 ** | 0,566 | 0,549 | | |
| | PB-CC 39 | 4 | 0,391 | 0,361 | 0,368 | 0,385 | 0,088 | 0,665 ** | 0,394 | 0,358 | | |
| | DA-CC 2 | 4 | | | | | 0,565 | 0,779 ** | | | | 1,038 0,294 ** |
| Indonésie (Indonesia) | PNP X | 4 | 0,495 | 0,478 | 0,496 | 0,534 | 0,276 | 0,640 ** | 0,496 | 0,474 | | |
| Philippines | PH-CC 8 | 4 | 0,283 | 0,412 ** | | | 0,269 | 0,427 ** | 0,353 | 0,359 | | |
| NAINS (DWARFS) | | | | | | | | | | | | |
| Côte-d'Ivoire (Ivory Coast) | DA-CC 3 | 4 | 0,728 | 0,669 ** | 0,692 | 0,698 | 0,648 | 0,723 ** | 0,689 | 0,689 | | |

(1) Effet des chlorures (Cl) comparé aux sulfates (S) (Effect of chlorides — Cl — compared to sulphates — S).

mité de la plus haute feuille. Les résultats ont montré qu'il existait une corrélation significative, entre les teneurs en chlore et la vigueur du plant, de $r = 0,390^*$ à 2 ans et de $r = 0,408^*$ à 3 ans ; il n'a pas été mis en évidence de corrélation entre les niveaux de K et la vigueur du plant. Par ailleurs, les résultats de l'analyse foliaire prouvent que l'alimentation potassique est satisfaisante avec des niveaux à peu près constants pour les 4 traitements tandis que les teneurs en chlore sont significativement augmentées proportionnellement aux doses de chlorure de potassium appliquées (Fig. 10).

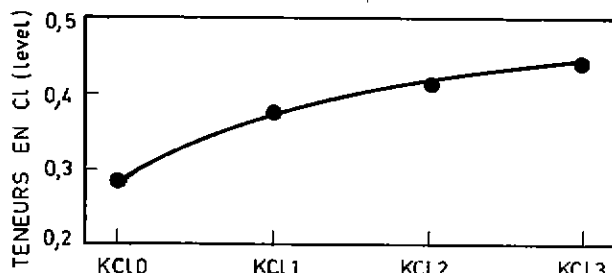


FIG. 10. — Influence des doses de KCl sur les teneurs en Cl — feuille de rang 9 (Influence of KCl rates on Cl levels — leaf rank 9).

Ollagnier *et al.* [12] relatent l'effet du chlore sur de jeunes cocotiers en pépinière. Dans une expérience factorielle 3^3 étudiant l'azote, le potassium et le magnésium, les parcelles ont été subdivisées en chlorure et sulfate. L'analyse foliaire révèle une légère augmentation significative des niveaux de phosphore (0,141, contre 0,145 * dans la comparaison sulfate-chlorure) qui sont bons ; les différences sont beaucoup plus importantes au niveau du chlore dont les teneurs passent de 0,785 en présence de sulfate à 1,181 ** en présence de chlorure. Les niveaux de N, K, Ca, Mg et S n'évoluent pas. Les mesures de croissance confirment l'action positive des chlorures comparativement aux sulfates. Le tableau XIV résume ces résultats.

TABLEAU XIV. — Effet du chlore en pépinière — Expérimentation 3^3 N, K, Mg subdivisée — Chlorure contre sulfate

(Effect of Cl in the nursery — Experimentation 3^3 , N, K, Mg subdivided; chloride v. sulphate)

| Forme des engrais (Form of fertilizer) | Teneurs des feuilles en éléments nutritifs — (Rg. 1) (Leaf nutrient levels — rank 1) — Nov. 1974 | | | | | | | |
|---|---|---------|------|------|-------|-------|----------|-------|
| | N | P | K | Ca | Mg | Na | Cl | S |
| Sulfate (Sulphate) | 2,02 | 0,141 | 1,87 | 0,45 | 0,310 | 0,228 | 0,785 | 0,228 |
| Chlorure (Chloride) | 2,03 | 0,145 * | 1,85 | 0,47 | 0,304 | 0,219 | 1,181 ** | 0,219 |

| Forme des engrais (Form of fertilizer) | Mesures de croissance Févr. (Feb.) 1975 (Growth measurements) | | | Poids sec des plants (Dry weight of plants) Mai 1975 (kg) |
|---|---|--|---------------------|---|
| | Circonférence (Girth) | Nbre de feuilles (No of leaves) | Hauteur (Height) | |
| Sulfate (Sulphate) | 23,2 | 12,9 | 208,6 | 4,31 |
| Chlorure (Chloride) | 25,7 ** | 13,0 * | 219,5 * | 5,20 ** |

En Côte-d'Ivoire, dans l'expérience DA-CC 2 de Dabou, qui compare dans un dispositif factoriel $3 \times 3 \times 2$, l'effet des chlorures et des sulfates du potassium et du sodium sur cocotiers hybrides Nains Jaunes \times Grand Ouest Africain, l'avantage va aux formes chlorures qui procurent un meilleur développement que les formes sulfates.

| | K0 | K1 | K2 |
|--|-------|----------|----------|
| Teneurs en K en 1977 | 0,437 | 1,408 ** | 1,897 ** |
| Circonférence au collet en 1977 (cm) | 59,7 | 64,3 * | 68,1 ** |

Dans le tableau ci-dessus, si l'on note en 1977 un effet de la fumure potassique sur la circonférence au collet des plants, on constate également que le chlore, dont les niveaux sont significativement déprimés en présence de sulfate, a un effet significatif sur la circonférence au collet des plants (tableau ci-après).

| | Teneurs en chlore en p. 100 de M. S. | | Circonférence au collet (cm) | |
|--------------|---|----------|------------------------------------|----------|
| | chlorures | sulfates | chlorures | sulfates |
| Février 1976 | 0,538 | 0,196 ** | 42,3 | 39,8 |
| Février 1977 | 0,743 | 0,101 ** | 66,9 | 61,2 ** |

En Indonésie (Nord-Sumatra), des analyses foliaires ont révélé des déficiences sévères en chlore sur sols liparitiques, corrigées très aisément par l'application de chlorure de potassium. Le tableau ci-dessous donne l'évolution des niveaux de K et Cl en présence de chlorure de potassium.

| | Teneurs des feuilles en p. 100 de M. S. | | | |
|----------|---|----------|-------|----------|
| | K | (p. 100) | Cl | (p. 100) |
| K0 | 1,55 | (100) | 0,063 | (100) |
| K1 | 1,59 | (103) | 0,290 | (480) |
| K2 | 1,61 | (104) | 0,686 | (686) |

On constate que le chlorure de potassium est sans action sur les niveaux de potassium qui sont supérieurs au niveau critique. Par contre, les très faibles teneurs en chlore sont fortement relevées par le chlorure. En Indonésie, toujours, des teneurs inférieures à 0,100 ont été notées près de Menado (Nord Sulawesi). Dans l'expérience PNPK, Exp 1 d'Indonésie, c'est encore le chlore qui est facteur limitant de la croissance.

Aux Philippines, ce sont les formes chlorures qui favorisent le développement, tous les caractères de croissance étant en corrélation avec les teneurs en chlore (PH-CC 8).

En Côte-d'Ivoire, on vient de mettre en évidence une déficience en chlore dans l'expérience PB-CC 39, sur sol sablo-argileux d'alluvions.

Indubitablement, des déficiences en chlore ont été mises en évidence, par différents auteurs, et cet élément est très facilement absorbé par le cocotier ; il agit sur la croissance et la production ; cette dernière, dans certaines situations, peut être doublée. Pour Ollagnier, Ochs et Daniel [12], le chlore doit donc faire partie des éléments majeurs, d'autant plus que les valeurs peuvent atteindre des niveaux supérieurs à 0,5 p. 100 de matière sèche.

Dans le cadre d'une enquête de diagnostic foliaire, réalisée aux Philippines entre 1974 et 1976 et dont les échantillons ont été analysés dans les laboratoires de l'I. R. H. O., le tableau ci-après donne le pourcentage d'échantillons déficients pour l'élément considéré par rapport aux 295 échantillons analysés.

| Eléments | Pourcentage d'échantillons déficients |
|-----------------|---|
| Azote | 84 |
| Chlore | 52 |
| Magnésium .. | 43 |
| Potassium .. | 13 |
| Phosphore | 0,1 |

La déficience en azote est la plus fréquemment rencontrée avec 84 p. 100 des échantillons qui n'atteignent pas le niveau critique. Il est intéressant de remarquer que le chlore arrive en seconde position, avec 52 p. 100 de prélèvements.

Dans cette enquête, les niveaux de magnésium sont fortement influencés par les fortes teneurs en potassium. Il existe peu de cas de déficiences en potassium et phosphore.

En conclusion, la déficience en chlore est assez fréquente aux Philippines et se retrouve en Côte-d'Ivoire, en Indonésie et dans certaines zones d'Océanie. Depuis la découverte de l'importance du chlore dans la nutrition des palmiers par Ollagnier et Ochs, de nouvelles observations sont en cours et permettent de mieux circonscrire les zones déficientes en cet élément. L'analyse systématique du chlore dans les échantillons foliaires facilitera la détection des régions carencées.

Les niveaux de chlore sont très bien relevés par les chlorures, et si la déficience chlorée n'a pas été mise en évidence immédiatement à Dabou en Côte-d'Ivoire, c'est que, le potassium étant

considéré comme le facteur limitant, le chlorure de potassium apporté comblait une partie de la carence en chlore. On voit donc l'importance de la forme de l'engrais et l'intérêt de la détermination précise des déficiences par le diagnostic foliaire. En présence d'une double déficience en chlore et en azote, le chlorure d'ammonium sera sans doute la forme la mieux adaptée pour corriger simultanément les deux carences. Cependant, ce n'est que l'expérience au champ qui, en tenant compte de tous les facteurs, confirmera la valeur de l'engrais proposé.

A cet égard, Magat [54], dans une série de 10 champs de démonstration installée aux Philippines, obtient des réponses diverses aux fumures appliquées. De ces 10 champs, nous en avons extrait 6 qui nous paraissent avoir un intérêt particulier, même si les conclusions ne peuvent avoir la valeur rigoureuse d'une expérimentation exploitable statistiquement.

Les renseignements et résultats sont consignés dans les tableaux XV et XVI.

Les champs 1 et 2 ont tous deux une déficience sévère en azote ; la déficience en chlore est évidente pour le champ 2, elle est moins prononcée, ou inexistante (tout dépend du niveau critique du chlore non encore défini par l'expérimentation) dans le champ 1. Tous les autres éléments ont de bons niveaux. Les productions de départ sont assez similaires. Il n'existe pas de différence notable au niveau des cocoteraies (plantations 9 x 8 m en carré, âge 18 à 20 ans, production de 35 à 40 noix/arbre), de la pluviométrie et du sol (alluvions argileuses avec 48 à 60 p. 100 d'argile). Le champ 2 a reçu des doses de chlorure d'ammonium presque doubles de celles du champ 1, à chaque application. Le chlorure d'ammonium relève sensiblement les niveaux de N dans les deux champs, ainsi que les niveaux de chlore, l'effet dans le champ 2 étant plus spectaculaire par suite de la faiblesse native de Cl. Dans les deux cas, le coprah/noix est relevé de 18 à 19 p. 100 ; le nombre de noix est augmenté de 32 p. 100 dans le champ 1, contre 13 p. 100 dans le champ 2 et le coprah/arbre s'accroît de 56 p. 100 dans le champ 1 et 34 p. 100 dans le champ 2. Bien que la carence azotée soit sévère, tout se passe comme si le chlore était le premier facteur limitant.

Le champ 6 semble confirmer cette analyse. Les déficiences en azote et chlore de ce champ sont sévères. L'application de sulfate d'ammoniaque corrige notablement la déficience azotée, sans agir sur les teneurs en chlore, et procure une augmentation du coprah/arbre de 48 p. 100 (29,8 kg avec sulfate d'ammoniaque contre 20,1 kg au témoin). L'effet est plus spectaculaire avec le chlorure d'ammonium qui, en relevant simultanément les teneurs en azote et en chlore, procure un gain de 11 p. 100 de coprah/arbre (on note un effet de dilution

pour K). Que se serait-il passé en présence d'un autre chlorure qui n'aurait relevé que les niveaux de Cl ?

Dans ce champ 6, l'action du chlorure de sodium ne s'est pas encore fait sentir puisque son application est récente. Il n'en est pas de même pour les champs 4 et 5. La carence en azote est plus sévère dans le champ 5 que dans le champ 4 ; l'ordre est inversé pour la carence en chlore. On observe une action tout à fait remarquable de l'association sulfate d'ammoniaque-chlorure de sodium ; l'effet étant d'autant plus marqué que la déficience en azote est prononcée (augmentation du coprah/arbre de 307 p. 100 dans le champ 5, contre 86 p. 100 dans le champ 4). Par application de sulfate d'ammoniaque seul, le champ 6 ne donne que 48 p. 100 d'augmentation du coprah/arbre. Cependant, l'action du chlorure d'ammonium n'est pas négligeable pour autant puisque les accroissements de production sont respectivement de 62 et 274 p. 100 sur le coprah/noix pour les champs 4 et 5. On constate donc une certaine équivalence entre les effets du chlorure d'ammonium, d'une part et de l'association sulfate d'ammoniaque-chlorure de sodium, d'autre part.

La particularité du champ 3 réside dans sa quadruple déficience en azote, potassium, chlore et soufre. Le chlorure de potassium associé au sulfate d'ammoniaque provoque un relèvement de tous les éléments déficients qui deviennent tous supérieurs ou voisins des niveaux critiques ; le coprah/arbre est relevé de 49 p. 100. L'effet du chlorure d'ammonium, qui n'agit que sur les niveaux de Cl et N, ne se traduit que par une augmentation de 35 p. 100, potassium et soufre devenant probablement facteurs limitants.

L'ensemble de l'étude de Magat montre que le diagnostic foliaire est un très bel outil de travail. Après avoir défini un certain nombre de déficiences en fonction de niveaux critiques, l'application des engrais correspondants procure des gains de production de 30, 50, 100 et... 300 p. 100 !

d) Relations avec les autres éléments.

Les études sont trop récentes pour donner avec précision les relations existantes avec les autres éléments.

A suivre (*).

(*) La III^e et dernière partie de cette communication paraîtra dans le N° de janvier 1980 de la Revue *Oléagineux*.

TABLEAU XV. — Philippines — Champs de démonstration — Doses d'engrais appliquées
(Demonstration plots — Rates of fertilizer applied) [Source : Magat, 1978]

| Champ (Plot) | Traitements (Treatments) | Doses d'engrais appliquées (Rates of fertilizer applied) kg/arbre (tree) | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| | | Applications | | | | | | Application totale /arbre (tree) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1) Oppus/Davao City | A — Témoin (Control) B — NH ₄ Cl | 0 0,62 | 0 0,62 | 0 0,62 | 0 0,62 | 0 0,62 | 0 — | 0 3,1 kg CA |
| 2) Mendoza/Davao Norte | A — Témoin (Control) B — NH ₄ Cl | 0 1,0 | 0 1,0 | 0 1,0 | 0 1,0 | 0 1,0 | 0 1,0 | 0 6 kg CA |
| 3) Cuizon/Davao City | A — Témoin (Control) B — (NH ₄) ₂ SO ₄ + KCl C — NH ₄ Cl | 0 1,0+1,5 1,20 | 0 1,0+1,5 1,20 | 0 1,0+1,5 1,20 | 0 1,0+1,5 1,20 | 0 1,0+1,5 1,20 | 0 — — | 0 5 kg SA + 7,5 kg CK 6 kg CA |
| 4) Ladores/Davao Norte | A — Témoin (Control) B — (NH ₄) ₂ SO ₄ + NaCl C — NH ₄ Cl | 0 0,90+1,0 0,75 | 0 0,90+1,0 0,75 | 0 0,90+1,0 0,75 | 0 0,90+1,0 0,75 | 0 0,90+1,0 0,75 | 0 0,90+1,0 0,75 | 0 5,4 kg SA + 6 kg CS 4,5 kg CA |
| 5) Clarin/Misamis Oriental | A — Témoin (Control) B — (NH ₄) ₂ SO ₄ + NaCl C — NH ₄ Cl | 0 1,2+1,0 1,0 | 0 1,2+1,1 1,0 | 0 1,2+1,1 1,0 | 0 1,2+1,1 1,0 | 0 1,2+1,1 1,0 | 0 — — | 0 6 kg SA + 5,4 kg CS 5 kg CA |
| 6) Cagampang/Misamis Oriental | A — Témoin (Control) B — (NH ₄) ₂ SO ₄ + NaCl (*) C — NH ₄ Cl | 0 1,0 0,75 | 0 1,0 0,75 | 0 1,0 0,75 | 0 1,0+0,90 0,75 | 0 1,0+1,90 0,75 | 0 — — | 0 5 kg SA + 1,80 kg CS 3,75 kg CA |

SA = sulfate d'ammoniaque (ammonium sulphate) — CK = chlorure de potassium (potassium chloride).

CA = chlorure d'ammonium (ammonium chloride) — CS = chlorure de sodium (sodium chloride)

(*) Application à compter de novembre 1977 (from November 1977 on).

TABLEAU XVI. — Champs de démonstration — Production et niveau de nutrition
(*Demonstration plots — Production and nutrient level*) — [Source : Magat, 1978]

| Champ (Plot) | Traitements (Treatments) | Nombre de récoltes (No. of harvests) | Production moyenne (Average yield) | | | Augmentation de la production (yield increase) p. 100 | | | Analyse foliaire, feuille 14. (Leaf analysis, frond 14) p. 100 M. S. (D.M.) Déc. 1977 | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------|--|--|---------------------------------|----------------------------------|---|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | coprah/noix (copra/nut) g | nombre de noix (No. nuts) | coprah/ arbre (copra/tree) kg | coprah/ noix (copra/nut) | nombre de noix (No. nuts) | coprah/ arbre (copra/tree) | N | P | K | Ca | Mg | Ba | Cl | S |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1) Oppus/Davao City | A - Témoin (Control) B - NH ₄ Cl | 15 | 302 | 126,4 | 38,13 | — | — | — | 1,38 | 0,149 | 1,60 | 0,327 | 0,291 | 0,036 | 0,446 | 0,145 |
| | | | 355 | 167,2 | 59,34 | 18 | 32 | 56 | 1,66 | 0,149 | 1,52 | 0,455 | 0,272 | 0,039 | 0,734 | 0,151 |
| 2) Mendoza/Davao Norte | A-Témoin (Control) B - NH ₄ Cl | 12 | 268 | 137,2 | 36,84 | — | — | — | 1,39 | 0,156 | 1,68 | 0,327 | 0,190 | 0,079 | 0,064 | 0,150 |
| | | | 318 | 155,2 | 49,43 | 19 | 13 | 34 | 1,53 | 0,154 | 1,63 | 0,378 | 0,218 | 0,164 | 0,516 | 0,156 |
| 3) Cuizon/Davao City | A - Témoin (Control) B - (NH ₄) ₂ SO ₄ + KCl C - NH ₄ Cl | 13 | 230 | 120,7 | 27,81 | — | — | — | 1,44 | 0,136 | 0,45 | 0,293 | 0,313 | 0,388 | 0,128 | 0,110 |
| | | | 253 | 163,2 | 41,32 | 10 | 35 | 49 | 1,87 | 0,134 | 0,91 | 0,338 | 0,263 | 0,161 | 0,567 | 0,173 |
| | | | 263 | 142,9 | 37,54 | 14 | 12 | 35 | 1,69 | 0,134 | 0,51 | 0,288 | 0,246 | 0,217 | 0,635 | 0,122 |
| 4) Ladores/Davao Norte | A - Témoin (Control) B - (NH ₄) ₂ SO ₄ + NaCl C - NH ₄ Cl | 16 | 287 | 72,8 | 20,90 | — | — | — | 1,46 | 0,166 | 1,22 | 0,404 | 0,263 | 0,152 | 0,133 | 0,162 |
| | | | 310 | 125,6 | 38,96 | 8 | 72 | 86 | 1,62 | 0,150 | 1,25 | 0,451 | 0,247 | 0,276 | 0,540 | 0,162 |
| | | | 308 | 109,9 | 33,81 | 7 | 51 | 62 | 1,62 | 0,147 | 1,02 | 0,430 | 0,284 | 0,326 | 0,484 | 0,157 |
| 5) Clarin/Misamis Oriental | A - Témoin (Control) B - (NH ₄) ₂ SO ₄ + NaCl C - NH ₄ Cl | 12 | 267 | 38,4 | 10,32 | — | — | — | 1,10 | 0,131 | 1,15 | 0,609 | 0,361 | 0,193 | 0,378 | 0,144 |
| | | | 303 | 138,6 | 42,00 | 13 | 261 | 307 | 1,62 | 0,145 | 0,99 | 0,548 | 0,319 | 0,192 | 0,563 | 0,167 |
| | | | 302 | 127,6 | 38,60 | 13 | 233 | 274 | 1,51 | 0,136 | 1,07 | 0,512 | 0,277 | 0,142 | 0,527 | 0,158 |
| 6) Cagampang/Misamis Oriental | A - Témoin (Control) B - (NH ₄) ₂ SO ₄ + NaCl (*) C - NH ₄ Cl | 12 | 222 | 91,2 | 20,15 | — | — | — | 1,38 | 0,143 | 1,51 | 0,258 | 0,231 | 0,106 | 0,068 | 0,154 |
| | | | 273 | 109,6 | 29,81 | 23 | 20 | 48 | 1,58 | 0,148 | 1,38 | 0,308 | 0,280 | 0,133 | 0,048 | 0,171 |
| | | | 317 | 135,1 | 42,78 | 43 | 48 | 112 | 2,09 | 0,139 | 0,61 | 0,238 | 0,540 | 0,133 | 0,442 | 0,152 |

(*) Application à compter de novembre 1977 (from November 1977).

La production est enregistrée jusqu'en avril 1978 (Production was recorded up to April 1978).

Les applications d'engrais ont eu lieu d'août 1975 à avril 1978 (Fertilizer applications were given from August 1975 to April 1978).

Mineral nutrition and fertilization of the coconut around the world (1)

R. MANCIOT (2), M. OLLAGNIER (3) and R. OCHS (4)

II. — STUDY OF THE DIFFERENT ELEMENTS (continued)

3. — Potassium.

Potassium is reputed to be of considerable physiological importance, but its role in the formation of yield remains a mystery (Conclusions of the International Potash Institute Congress, Berne, 1978).

It is thought to be important to the plant's metabolism, in accelerating the movements of the stomata (water economy), in activating the enzymes, in the transport of metabolites and in cell division. These points have been little studied for the coconut, or have not yet been.

a) Deficiency symptoms.

For a leaf of rank 14 the critical level is 0.80-1.00 p. 100 of dry matter for Tall varieties. For the new hybrid material, particularly the P-B 121, the level determined by the I. R. H. O. has been raised to 1.40 for the period prior to maximum production.

The first visual symptoms appear on the leaf let as follows :

- rust-coloured spots in two longitudinal bands on either side of the central rib, their diameter ranging from 0.5 to 3-4 mm ;
- slight yellowing of the lamina, more marked towards the tip of the leaflet.

Thereafter, the yellowing gets worse, leaving only a narrow median band still green, thinning down to necrosis. The rusty spots invade the whole leaflet and form large patches of irregular outline.

The visible potassium deficiency is characterized by yellowing of the leaves in the middle of the crown in the early stages and drying up of the lower leaves in the last ones.

The deficiency symptoms are not clearly visible when the levels are between 0.4-0.5 and the critical level.

b) Causes.

The causes are linked mainly to the soils, which rarely possess the large quantities of potassium required by the coconut.

The analyses results given in Table I confirm that numerous coconut plantations in the world suffer from potassium deficiencies.

This is the case of the tertiary and quaternary sands of West Africa, of the coastal sands of Sambava (Madagascar), of the coral soils of the Oceanian atolls, of the exhausted lateritic zones of India, of the sandy soils on the East coast of Sri Lanka, where the K levels are below 0.15 me/100 g.

On the other hand, in Indonesia, the Philippines, Viet Nam, Cambodia and Malaysia there are lands with a high native potassium content, over 0.30 me/100 g, and which cover vast areas. But this initial richness can be heavily compromised by very exhausting food crops, for example cassava.

c) Correction by mineral manuring.

Potassium deficiency is frequent ; it is easy to detect by leaf analysis if the visual symptoms are insufficient to make it absolutely evident.

It is present in the New Hebrides, Madagascar, Mozambique, Jamaica, the Ivory Coast, Togo, Benin, Mexico, in certain parts of Malaysia, in New Guinea, in the Solomon Islands, in Sri Lanka, in India, in Brazil...

Experiments have mainly been done on the traditional Tall material. The arrival of the hybrid coconut, whose abundant production increases uptake [9], has brought the need for bigger potassic manuring. A series of new trials was therefore set up, 19 for the Ivory Coast alone.

The effects of potassium are very marked on the poorer soils such as the tertiary and quaternary sands of the Ivory Coast (Table VIII).

In this respect, when the I. R. H. O. started its experimental programme in 1952 the responses to potassium were immediate and highly conclusive. Its action is manifest in all the production factors : number of inflorescences and bunches/tree, number of flowers/bunch, number of nuts/tree, copra/nut ; and consequently in the quantity of copra produced by the tree in a year. Experiment PB-CC 1 provides interesting information. Without potash, the mean yield for 6 years is 930 kg copra/ha/year ; with the application of 1.5 kg potassium chloride/tree/year, yield rises to 2 100 kg copra/ha/year ; production is **more than double**.

Still within the framework of I. R. H. O. experimentation in the Ivory Coast, trial PB-CC 3 confirms the spectacular action of potassic manuring on yield, and shows that the harm done to the trees by a lack of potassium during immaturity is irremediable. The trees which have received potash manuring from the time of planting always produce more than those which only got it at maturity. The deficit persists, and stabilizes at 15-20 p. 100 [35].

If experiment PB-CC 5 has confirmed high profitability of potassic fertilizer, it has also shown that it should be applied annually, the residual effect of a double rate every two years being less than the annual action of a single rate.

In India, Kunhi Mulyar et al. [18] consider that the increased yield due to correction of the potash deficiency is essentially due to the increase in the number of nuts and not to the combined increase in the number of nuts and the copra per nut.

Similar observations have been made in the New Hebrides by the I. R. H. O. ; on coral soil the increased production brought about by potassium manuring is due to the larger number of nuts only.

Sumbak [32] in Papua-New Guinea obtained a yield increase by potassium application, but was not able to show that it affected the number of nuts and the copra per nut simultaneously. However, it does seem that in the experimentation undertaken the richness of the soils in exchangeable K is relatively high (0.26 me/100 g) and that the major effect is obtained by sulphur applications ; moreover, the author states that potassium sulphate proved better than the chloride.

There are therefore cases where potassium deficiency shown up by leaf analysis is difficult to correct by mineral manuring. This has been observed in the New Hebrides in trial NH-CC 8 on rich clay plateau soils (K = 1.04 me/100 g between 0 and 20 cm down, and 0.64 me/100 g between 20 and 40 cm), where in spite of relatively low K levels (0.582 p. 100 dry matter) the application of potassium fertilizer has no action on the K levels and yields. Here is a case where the soils have a low power of fixation (illites).

On coral soil in Polynesia, two years elapse after the first fertilizer dressing before it starts to take effect on the yield of mature trees, even though the leaf levels rose very quickly.

On more developed coral soils, as in experiment NH-CC 6 in the New Hebrides, it is again the potassic deficiency which is the limiting factor for production, and the application of potassium chloride is accompanied by an increase in the K contents and in the copra per tree.

Foale [42], in the Solomon Islands, also working on Tall material, obtained spectacular effects with potassium. In replanting, increasing annual rates of K significantly increased the height of immature trees ; by 10 years old production was 60 p. 100 higher for the manured trees. In another experiment, potassium has tripled the yield of the control plots. Foale, who made great use of leaf analysis as a means of studying deficiencies, says that following the setting up of two new trials he found that

(1) 11th part of the communication presented to 5th Session of the F. A. O. Technical Working Party on Coconut Production, Protection and Processing, 3-8 dec. 1979, Manila (Philippines). The 1st part was published in the November 1979 number of *Oléagineux*.

(2) Coconut Department, I. R. H. O., 11 Squ.-Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Director of Research, I. R. H. O., Paris.

(4) Director, Agronomy Department, I. R. H. O., IRHO/GER-DAT, B.P. 5035-34032 Montpellier Cedex (France).



FIG. a. — Réponse à la fumure azotée dans une expérience d'engrais sur hybrides P-B 121 en Côte d'Ivoire. A gauche : parcelle sans azote ; noter l'aspect clair du feuillage et le jaunissement des feuilles basses (*Response to nitrogen manuring in a fertilizer experiment on PB 121 hybrids in the Ivory Coast. left : plot without nitrogen ; note the pale-looking foliage and the yellowing of the lower leaves.*)



FIG. b. — Arbre déficient en azote (*Tree deficient in nitrogen*)

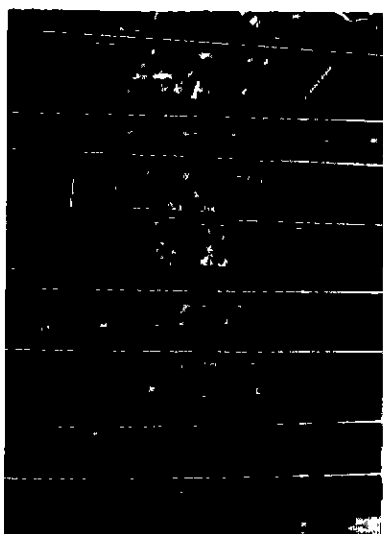


FIG. c. — Symptôme de la déficience en azote sur folioles (*Symptom of nitrogen deficiency on leaflets.*)



FIG. d. — Carence en potassium dans l'expérience CC 16. Dessèchement des feuilles basses (*Potassium deficiency in experiment CC 16. Drying up of lower leaves.*)

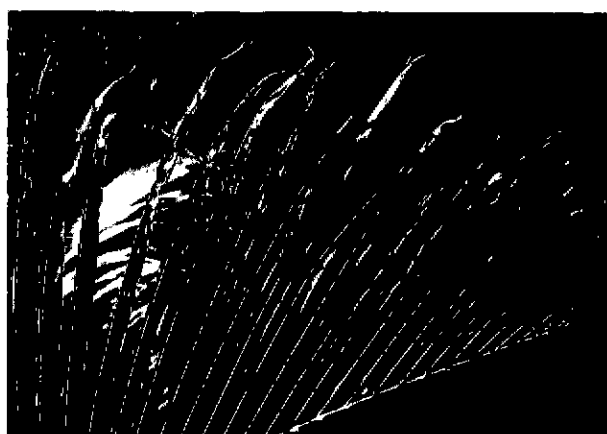


FIG. e. — Symptômes de carence en potassium sur feuille (*Symptoms of potassium deficiency on leaf.*)



FIG. f. — Carence en magnésium sur jeune cocotier. Decoloration jaune des feuilles les plus âgées. A noter que les parties des folioles situées près du rachis des feuilles moyennes demeurent vertes (*Magnesium deficiency on young coconut. Yellowing of the oldest leaves. Note that the parts of the leaflets near the rachis of the middle leaves remain green.*)

the fertilizers applied remained without action on the levels and yields, the various element contents being close to the critical level.

We can thus conclude that for soils of volcanic origin with a high exchangeable K content, coconut nutrition reaches values close to the critical level; potassic manuring then has no action on the leaf K levels and on the development of the plant or the yield.

When the deficiency in another element is corrected, the increased production which results from this may eventually induce a potassium deficiency, since the latter is the element with the biggest uptake. This phenomenon is patent in Mozambique, where correction of nitrogen deficiency raises yields and provokes the fall of the P levels. The same thing happens in the Polynesian atolls, where better maintenance and the correction of iron and manganese deficiencies make potassium applications necessary.

We saw in Table VI that better nitrogen nutrition improves the growth of young plants but leads to the dilution of potassium. Coomans [14] has shown that potassium levels are strongly influenced by production. This remark is all the more important in that the hybrid material is likely to produce four to six times as much as the Tall coconut.

Fertilizer experiments on hybrids are few and relatively recent. Trial PB-CC 16 is the oldest on hybrids of Malayan Yellow Dwarf \times West African Tall and Equatorial Guinea Green Dwarf \times WAT, and it started in 1970. The effect of potassium made itself felt right from the start, significantly increasing girth.

This element also has a spectacular effect on the number of inflorescences emitted by the tree; K applications triple them. The beneficial action of potash fertilizer is intensified in yield by its action on the number of nuts and the copra per nut, the total copra being more than doubled.

The I. R. H. O. studies have very clearly demonstrated the highly significant correlation between K levels and copra production per tree. However, the study of potassium cannot be dissociated from that of the other cations, as there are close relationships between them [11]. We will see this in the chapter dealing with the relationships with other elements.

The figure 3 shows how yield progressed in the K0 and K3 plots from 1955 to 1968 in experiment PB-CC 1; the annual rainfall and the cumulative annual water deficit are represented for year $n - 1$.

The yields of plots K0 and K3 follow the same trend; those of the K3 plots are always higher than those of the K0 (effect of potassium).

Between 1955 and 1961, there were only two water deficits over 200 mm, one of 340 mm and the other of 590 mm. During this period yield does indeed depend on rainfall and the water deficit, but the mean yield remains relatively constant.

On the other hand, from 1962 on yield fell progressively and in function of high water deficits, some over 380 mm (5 were between 380 and 590 mm, 2 less than 200 mm). Each time the deficit was at a minimum, production rose — 1963/1964 and 1965/1966.

The liaison « last year's rainfall/yield » is good. The rainfall and production curves are similar; increased rainfall leads to increased production the following year. However, this is not always so when the water deficit is over 400 mm and the annual rainfall close to optimum (1 800-2 000 mm), but this is explained by the fact that the soil water reserves are insufficient during the dry season, e. g. the K0 plots in 1962/1963.

Finally, after a dry period, yield increases to a greater extent in the plots which are manured (Table IX).

In conclusion, there is a good relationship between yield, rainfall and water deficit. A drop in production follows decreased rainfall, and the worse the water deficit and the more accentuated the nutrient imbalance, the bigger the reduction in yield. Good mineral nutrition gives the coconut a better chance of getting through the driest season, and there is a considerable yield gain compared to unfertilized trees.

Let us mention here a highly significant positive relationship found in trial PB-CC 3 on Tall material, between mean annual production for the last 11 years and growth at an early age expressed in girth (cm) at 57 months or the number of leaves emitted in 67 months from planting. The coefficients of correlation below:

| | |
|---|------------------|
| — mean annual production in number of nuts/tree and girth at 57 months (Fig. 4) | $r = 0.77^{***}$ |
| — number of leaves emitted in 67 months (Fig. 5) | $r = 0.60^{***}$ |
| — mean annual production of copra/tree and girth at 57 months (Fig. 6) | $r = 0.75^{***}$ |
| — number of leaves emitted at 67 months (Fig. 7) | $r = 0.54^{***}$ |

show that the improvement of growth in the early years results in increased production.

Where there is a deficiency, therefore, mineral manuring is indispensable right from the beginning.

d) Relationships with other elements.

The study of potassium has shown the antagonisms between

K-Ca, K-Mg and K-Na. Nevertheless, the K-Mg liaison is much closer than that of the other two couples.

It was in 1955 that the I. R. H. O. proved that there was a general relationship between K and Mg. The application of high potassium chloride rates can induce a severe magnesium deficiency. The table which follows is drawn from a trial dating back to 1955; the massive application of potassium provokes an outstanding drop in the three cations, Ca Mg and Na.

| Applications per tree in 1955 | Levels in February 1957 | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| | N | P | K | Ca | Mg | Na |
| Control (PB-CC 1) | 1.80 | 0.091 | 0.20 | 0.495 | 0.567 | 0.166 |
| 5 kg KCl | 1.75 | 0.097 | 0.98 | 0.507 | 0.188 | 0.294 |
| 10 kg KCl | 1.74 | 0.094 | 1.38 | 0.401 | 0.159 | 0.234 |
| 15 kg KCl | 1.74 | 0.097 | 1.55 | 0.392 | 0.125 | 0.181 |

In 1961 it was thought that there was a synergism for low K levels and an antagonism for the highest ones.

In 1970 Brunin [43], working on Tall material, noted that for K levels between 0.7 and 1.2 the application of high rates of Mg fertilizer significantly reduced K. However, the same author concludes, after observing other experiments, that while there is a very good relationship between leaf Mg and yield ($r = 0.616^{***}$), the extra production which can be expected from magnesium manuring when Mg is below the critical level will only be obtained once the potassic deficiency is corrected.

Coomans [44] in 1977 notes the heavy magnesium deficiency induced in hybrids by potassic fertilization. Magnesian manuring, on the contrary, has no effect on the leaf potassium levels. The action of potassium is preponderant, and the effect of magnesium only manifests itself in the presence of K.

In 1978 the I. R. H. O. pursued the study of the K-Mg interaction on the hybrid P-B 121 in experiment PB-CC 16. The results obtained are all the more credible in that the observations cover four years of production.

Cumulative production in copra/tree from December 1974 to July 1978

| | Mg0 | Mg1 | Mg2 | Main effect of K p. 100 | |
|-----------------------------|------|---------|---------|-------------------------------|-----|
| K0 | 33.0 | 32.6 | 32.9 | 32.8 | 100 |
| K1 | 66.6 | 77.4 | 75.0 | 73.0 ** | 223 |
| K2 | 41.0 | 88.1 | 88.7 | 72.6 ** | 221 |
| Main effect of Mg | 46.9 | 66.0 ** | 65.5 ** | | |
| p. 100 | 100 | 141 | 139 | | |

Unlike potassium, which acts both on the number of nuts and the copra/nut, magnesium acts only on the number of nuts and has no effect on the copra/nut.

The study of the relationships between nutrient levels and annual production of copra/tree has shown the predominating action of potassium ($r = 0.72^{**}$, campaign 1976-77) and the absence of a correlation between the Mg levels and yield; it is only at the level of K constant that the partial correlation Mg contents/yield becomes significant ($r = 0.52^{***}$). This result confirms those of Brunin and Coomans, as it is only when the potassic deficiency is corrected (level above 1 p. 100 K) that the magnesian manuring has a positive action on production.

In the conditions of soil fertility in the Ivory Coast, the work done by the I. R. H. O. has made it possible to predict the maximum yield of the hybrid P-B 121 taking into account the combined effect of potassium chloride and kieserite.

Critical levels of 1.4 for K and 0.20 for Mg correspond to this maximum yield.

e) Evolution of the critical level.

The critical level for potassium has been revised several times as experimentation progresses.

The interpretation of trial PB-CC 1 led to the critical level being fixed at close to 0.45 p. 100, taking into account the best yields obtained at the time with Tall material on sandy soils of mediocre fertility. In 1962, following the latest results from the same experiment, the critical level was raised to 0.8-1.0 p. 100 of dry matter.

In other regions, several researchers undertook to define critical levels and to compare them with those of the I. R. H. O. Kanapathy [39] finds a good concordance between the I. R. H. O.'s levels and the observations made in Malaysia both on Dwarf and Tall varieties. In the Philippines Magat [33] does not contest the critical level for K, but has reserves about those for Ca and Mg

initially defined by the I. R. H. O. as 0.50 and 0.30 respectively, which cannot be applied to all situations.

For magnesium, Magat's observation agrees with the latest I. R. H. O. publications, which give a critical level of 0.20-0.24, determined according to the results of experiment PB-CC 16.

4. — Calcium.

Calcium is not a very mobile element; it plays a part in the formation of cell walls (insolubilization of pectic acids), in the elasticity of the cells in course of elongation and in enzymatic actions.

The visual symptoms of calcium deficiency were observed in 1979 with Ca levels below 0.100 in experiment DA-CC3 in the Ivory Coast which studied the effects of an N, K and Mg mineral manuring on Malayan Yellow Dwarf. The tips of the leaflets become yellow — yellow — orange ring — shaped spots spread on the leaflets. They become necrotic then brown. The leaf dries up. The symptoms can affect the middle leaves before the oldest.

The critical level of 0.50 which was retained was never determined by experimentation; it is more the level of balance observed when the other cations, potassium and magnesium, are close to their optimum (critical) level. Very much lower values do not seem to have any consequences for yield. Thus, an experiment carried out on Dwarfs in Malaysia (United Plantations Berhad), where the levels were about 0.3, gave no results.

Magat [33] had already found the same thing in 1975, and considered that levels of 0.33-0.35 were acceptable.

In experiment PB-CC 23 on Talls in the Ivory Coast, the application of Ca in the form of calcium carbonate — 50 p. 100 CaO for four consecutive years never modified the Ca levels in the leaves (variations were less than 2 p. 100), and had no influence on yield.

Table X, which gives the Ca contents in the different experiments studied, indicates levels of 0.20-0.40 for adult trees, 0.50 being reached on coral soils. In the early years, the levels can be below 0.20 (Coomans, 44) and show the characteristic symptoms of deficiency for the lowest levels.

The calcium contents are appreciably increased by nitrogenous or phosphated fertilizers. Potassium manuring tends rather to depress the levels.

To conclude, a Ca level of 0.30-0.40 p. 100 dry matter in leaf rank 14 is satisfactory, and no improvement in development or yield can be expected from calcic fertilizer applications.

5. — Magnesium.

Magnesium enters into the physiology of the plant as a constituent of chlorophyll.

The critical level of leaf 14 is 0.24 for Talls. For the hybrids, the level has not yet been fixed definitively for the peak yield period; experimentation has enabled a critical value of 0.20 to be fixed for the first years of fruiting.

a) Deficiency symptoms.

The visual symptoms are characterized by yellowing of the leaflets on the oldest leaves, going from the tips towards the rachis of the leaf. This discoloration is worse on the parts exposed to the sun, the shaded parts remaining greener.

When the deficiency is fairly severe, the leaflet is almost devoid of pigmentation, but the parts nearest the rachis remain green.

When the deficiency gets worse, there is necrosis of the tips of the leaflets, which take on a characteristic red-brown hue, whilst translucent spots can be seen on the yellowed leaflets.

When the Mg levels are marginal in the field, it is not rare to see visual magnesium deficiency symptoms on the border rows, the foliage exposed to the sun exteriorizing the deficiency more clearly. This phenomenon is more pronounced on Red and Yellow Dwarf than on hybrids or Talls.

Recent observations made in experiment PB-CC 16 in the Ivory Coast show that there is a good relationship between the Mg levels in leaf 14 and the number of green leaves in the crown, once the potassium deficiency is corrected. In the case of the hybrid P-B 121, when the Mg contents are below 0.110, there are fewer than 12 green leaves; from 0.110-0.170, there are 13-20 leaves, and for Mg values above 0.170, more than 30.

b) Causes.

Magnesium deficiency can appear on soils poor in this element, but in the coconut it is frequently provoked by large potassium applications. Furthermore, this sensitivity to induced Mg deficiency is greater in the Dwarf, the Red and Yellow Dwarfs being the most susceptible. It is also found to a lesser degree in the Dwarf \times Tall [44].

Before the hybrid coconut appeared, magnesium deficiencies were not often seen, the soils having a sufficient reserve to face to relatively modest production of the Talls and potassic manuring itself being of limited proportions.

However, Mg deficiencies are known on the traditional varieties in the Ivory Coast, Sri Lanka and India, where the Mg levels in leaf 14 can be 0.100 or 0.140.

Magnesian deficiencies are more striking on Dwarf \times Tall hybrids, where the high potassium fertilizer rates, indispensable to compensate uptake due to high yields, tend to induce a magnesium deficiency through the antagonism between K and Mg.

Table XI clearly shows this effect of potassic manuring on the Mg levels, which are strongly depressed.

c) Correction by mineral manuring.

The application of magnesium fertilizer, usually kieserite, corrects the deficiency very well. The absorption of Mg leads to re-greening of the foliage, an increase in leaf levels and significant action on growth or production when the potassium shortage has been made up.

The I. R. H. O. has shown that the principal effect of magnesium on yield can be as much as 40 p. 100, but that it is only produced in the presence of potassium chloride.

d) Relationships with other elements.

In the sandy coastal soils, nitrogen fertilizer application often depresses the Mg levels. On the other hand, phosphorus increases leaf magnesium.

The most outstanding action is that of potassium, which always reduced the magnesium levels. Particular care must be taken when drawing up a manuring schedule, as the Mg deficiency induced by heavy potash fertilization can reduce yield by 40 p. 100.

We have already seen in the section on potassium that there is a close liaison between K and Mg levels. Figure 8 expresses the intensity of this liaison very well.

6. — Sodium.

Sodium is not really indispensable, but it is known that it can replace potassium to a certain extent when the latter is in short supply.

It favours the growth of certain plants (O. W. Lunt), and Harmer, on the basis of information available in literature on the matter, classes the coconut amongst the plants which give a moderate response to sodium even when there is plenty of potassium.

The critical level for sodium has not been determined experimentally for lack of trials concerning its application. The level of 0.40 previously retained should be taken as a rough guide, even though coconut groves giving excellent yields have Na levels below 0.100.

Planters in Java, India and Colombia apply sodium chloride; they consider that the sodium favours coconut yield, NaCl dressings having provoked increases in production. There is no scientific proof of this assertion, and it may be thought that as sodium was given in chloride form, it was the chlorine which raised yield (see section on chlorine).

In the Ivory Coast, DA-CC 2, a factorial $3 \times 3 \times 2$ experiment, studies sodium at three levels. While the leaf Na is significantly increased and rises from 0.339 to 0.517** for rank 4, there is no effect on development, girth being 102 cm for treatments receiving no fertilizer and 103 cm for those getting sodium manuring.

Table XII shows the relationships with the other elements applied. Only potassium fertilization has a strongly depressive effect on the sodium levels.

In a study of the irrigation of coconuts with salt water [45], Pomier uses water half as salt as the sea, resulting in the doubling of leaf sodium, which rises from 0.066 for unwatered trees to 0.135 for the irrigated ones, the Mg and Cl levels being raised in parallel.

7. — Chlorine.

Although there are large quantities of chlorine in plant tissue (from 0.05 to more than 1 p. 100), it was considered an element without specific importance until Broyer (1954) showed that it was without doubt an indispensable element for the nutrition of cultivated plants.

No particular work had been done on chlorine in tropical oil plants before its importance was brought to light on oil palm in 1970, thanks to the difficulty encountered in interpreting a fertilizer experiment set up by the I. R. H. O. in Colombia [Ollagnier and Ochs, 46].

It is now possible to show that in recent alluvial or volcanic soils which often have high exchangeable base contents (5-10 me/100, including 0.3-1 potassium), there are the following relationships in the leaves between Ca^{++} , K^{+} and Cl^{-} under the influence of potassium chloride applications (or of chlorides):

— the absorption of Cl brings about the parallel absorption of Ca;

— the absorption of Ca leads to a drop in K from a level much higher than the critical one to values close to it or just a little above.

The coconut seems to follow this general trend. For example, the analysis of trials by Magat [1978] is an excellent demonstration of this, especially trials 1, 2, 4 and 5 in the Philippines.

At the beginning of the research, we mainly tried to show that Cl has a specific role, however slender, in the nutrition and yield of oil palm and coconut, and to show that the coconut was not always a « potash-loving crop » when its yields responded to potassium chloride applications. In effect, this point could be of importance from an economic point of view, because if it can be shown that on certain soils rich in potassium the increased yield obtained by KCl applications is due entirely to Cl, then it would be possible to have recourse to inhabitant fertilizers in case of double deficiencies — ammonium chloride for N and Cl deficiencies, magnesium chloride for Mg and Cl ones.

In general, the results of the last ten years have amply confirmed the initial hypotheses, and it can even be said that on the practical plane certain experimental findings in the Philippines are of unquestionable economic import (copra/nut increased by 10-20 p. 100, number of nuts up by 50-100 p. 100).

The mechanism of this action has still to be explained; a joint I. R. H. O./P. C. A. research project is now studying in France whether it occurs at the photosynthesis stage [Arnon, 48].

a) Deficiency symptoms.

According to Von Uexküll [48]: « chlorine deficiency manifests itself in a yellowing and/or orange mottling of the older leaves and with a drying up of the outer edges and tips of the leaflets — a symptom very similar to that of potash deficiency — but this would need further verification ».

The size of the nut is also an indication of Cl deficiency; those on coconuts lacking chlorine are smaller than on trees well provided with this element.

b) Causes.

The amount of chlorine in the soil depends mainly on how much is brought down by the rains; all the Cl assimilable by the plant is contained in solutions in the soil which are constantly renewed by rain. Consequently, the soil content is a function of the quantity in the rainfall. Seawater is a good source of chlorine; seaboard soils are often richer in this element than inland ones.

The annual chlorine contribution, according to Erickson, varies from 5 to several hundred kilos of K per ha [12]. Measurements made by the I. R. H. O. show that the yearly input in the area of experiment PB-CC 16, already mentioned, is about 25 kg; now, the uptake as determined by Ollagnier and Ochs in this same region is 249 kg/Cl/ha for a hybrid coconut plantation producing 6.7 t of copra/year. If uptake is no longer compensated, a Cl deficiency will appear quite soon.

This observation is all the more important in that the hybrids, four to six times as productive as the Talls, also export four to six times as much mineral elements.

c) Correction by mineral manuring.

As early as 1971, Ollagnier and Ochs [46] suspected that chlorine was responsible for yield increases in a factorial experiment, DA-CC 1, in the Ivory Coast, which studied the effects of urea, potassium chloride and kieserite at three rates and sodium chloride at two (split plots), because the increased yields could not be explained by the rise in the Na or K levels, even though a slight effect of K was observed. Figure 9 shows that the number of nuts per tree increases at the same time as the Cl levels.

In 1972 von Uexküll [48] in the Philippines concluded that there was a positive action of chlorine on yield. In a 2nd experimental design studying sodium chloride, ammonium sulphate, bicalcium phosphate, potassium chloride and magnesium sulphate, yields are increased to an outstanding extent with potassium chloride; the potassium cannot be held responsible, since the correlation yield-leaf K levels is negative. On the other hand, there is a close correlation between yield and Cl levels. With sodium chloride there is also a positive correlation yield-Cl levels, the sodium levels being depressed (Table XIII).

More complete results were published by Magat et al. [49] in 1975 about an experiment studying increasing rates of potassium chloride. The fertilizer has a positive and significant action on copra/tree, which passes from 28 kg in the control to 55 kg in the treatment receiving 3.33 kg KCl/tree/year, i.e. the yield doubles. Whilst the leaf K levels do not change, remaining stable at 1.7 and 1.8 p. 100 dry matter, thus well above the critical value, the Cl contents increase considerably; the mean for the control plots is 0.074, against 0.534 ** for those getting the highest KCl rate. There is undeniably a very strong correlation between Cl levels and production per tree. Chlorated manuring acts both on the number of nuts and on the copra/nut. According to Magat, and in the conditions of the experiment in the Philippines, the gain in copra/nut was 35 p. 100 in 1975 (159 g for the control against 230 g for the plots getting KCl), and 56 p. 100 in 1976 (159 g for the control compared to 248 on the KCl plots). **This is a very large gain and an altogether remarkable result.**

This beneficial effect of chlorine on yield is found again in the growth and development of the young plants. In the New Hebrides, in a 4 × 4 × 2 type experiment on young coconuts planted on clay volcanic soil and studying ammonium sulphate, potassium chloride and bicalcium phosphate, Daniel and Manclot [40] examined the possible relationships between K and Cl

levels and the vigour index, defined by a formula expressing the volume of the plant by means of the girth, the two perpendicular diameters of the projection of the foliage on the soil and the height from the ground to the tip of the highest leaf. The results prove that there is a significant correlation between the Cl levels and the vigour of the plant of $r = 0.390^*$ at 2 years and $r = 0.408^*$ at 3 years; no correlation between K levels and the vigour of the plant was shown. In other respects, the leaf analysis results show that potassium nutrition is satisfactory with more or less constant levels for the four treatments, whilst the Cl contents are significantly increased in proportion to the KCl rates applied (Fig. 10).

Ollagnier et al. [12] describe the effect of chlorine on young coconuts in the nursery. In a 3rd factorial experiment studying nitrogen, potassium and magnesium, the plots were split into chloride and sulphate. Leaf analysis revealed a slight but significant rise in the phosphorus levels (0.141 against 0.145 * in the chlorine/sulphur comparison), which are good; the differences are much greater for chlorine, of which the contents pass from 0.785 with sulphate to 1.181 ** with chloride. The N, K, Ca, Mg and S levels do not change. Growth measurements confirm the positive action of chlorides compared to sulphates. Table XIV summarizes the results.

In experiment DA-CC 2 at Dabou, Ivory Coast, a 3 × 3 × 2 factorial design compares the effect of chlorides and sulphates of potassium and sodium on Yellow Dwarf × West African Tall hybrids; the chloride forms have the advantage, and stimulate better development than the sulphates.

| | K0 | K1 | K2 |
|--------------------------|-------|----------|----------|
| K levels in 1977..... | 0.437 | 1.408 ** | 1.897 ** |
| Girth in 1977 (cm) | 59.7 | 64.3 * | 68.1 ** |

While the above figures show that in 1977 there was an effect of potash fertilizer on girth, those below indicate that chlorine, the levels of which are significantly depressed in the presence of sulphate, also has a significant effect on girth:

| | Cl levels in p. 100 dry matter | | Girth (cm) | |
|---------------|-----------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| | Chlorides | Sul- phates | Chlorides | Sul- phates |
| February 1976 | 0.538 | 0.196 ** | 42.3 | 39.8 |
| February 1977 | 0.743 | 0.101 ** | 66.9 | 61.2 ** |

In Indonesia (North Sumatra), leaf analyses revealed severe Cl deficiencies on liparitic soils, very easily corrected by the application of potassium chloride. The evolution of the K and Cl levels in the presence of potassium chloride is given below:

| | Leaf contents in p. 100 dry matter | | | |
|----------|------------------------------------|----------|-------|----------|
| | K | (p. 100) | Cl | (p. 100) |
| K0 | 1.55 | (100) | 0.063 | (100) |
| K1 | 1.59 | (103) | 0.290 | (460) |
| K2 | 1.61 | (104) | 0.686 | (686) |

It will be seen that potassium chloride has no action on the K levels, which are above the critical value. On the other hand, the very low Cl contents are considerably raised by the chloride. In Indonesia again, levels below 0.100 have been recorded near Manado (North Sulawesi).

Again, in experiment PNP X, Exp 1 in Indonesia, it is chlorine which is the factor limiting growth.

In the Philippines, it is the chloride forms which favour development, all the growth characters being correlated to the Cl levels (PH-CC 6).

In the Ivory Coast, a Cl deficiency has just been detected in experiment PB-CC 39, planted on sandy-clay alluvial soil.

Chlorine deficiencies have undoubtedly been exposed by different authors, and this element is very easily absorbed by the coconut; it acts on growth and yield, and in certain situations the latter can be doubled. For Ollagnier, Ochs and Daniel [12], chlorine should therefore be included in the major elements, all the more so in that the values can reach 0.5 p. 100 of dry matter.

In the framework of a leaf analysis enquiry carried out in the Philippines from 1974 to 1976, the samples for which were analysed in the I. R. H. O. laboratories, the table below gives the percentage of samples deficient in the element considered compared to the 295 analysed.

| Element | p. 100 samples deficient |
|------------------|--------------------------|
| Nitrogen | 84 |
| Chlorine | 52 |
| Magnesium | 43 |
| Potassium | 13 |
| Phosphorus | 0.1 |

Nitrogen is the most frequent deficiency with 84 p. 100 of the samples below the critical level. It is interesting to note that chlorine comes second with 52 p. 100.

In this enquiry the Mg levels were strongly influenced by the high potassium contents. There were few P and K deficiencies.

To conclude, a Cl deficiency is quite frequent in the Philippines, and it is also found in the Ivory Coast, Indonesia and in certain parts of Oceania. Since Ollagnier and Ochs discovered its importance in oil palm nutrition, new observations have been going on and make it possible to circumscribe the deficient zones better. Systematic analysis of Cl in leaf samples will make it easier to detect areas lacking this element.

The Cl levels are very effectively raised by chlorides, and if the chlorine deficiency was not discovered straight away at Dabou, it was because potassium was considered to be the limiting factor, and the KCl applied made up part of the Cl shortage. This shows the importance of the form of fertilizer and the need to determine the deficiencies accurately by leaf analysis. When there is a double deficiency in chlorine and nitrogen, ammonium chloride is doubtless the form most apt to correct both simultaneously. Nevertheless, it is only by field experiments which allow for all these factors that the value of the fertilizer recommended can be confirmed.

In this respect, Magat [54], in a series of ten demonstration plots installed in the Philippines, obtains diverse responses to the manurings applied. From these ten plots, we have chosen six which appear to us to be of particular interest, even if the conclusions cannot have the strict value of an experiment which can be exploited statistically.

The data and results are given in Tables XV and XVI.

Plots 1 and 2 both suffer from a severe nitrogen deficiency ; the Cl deficiency is evident for plot 2, it is less pronounced or nonexistent (it all depends on the critical level, not yet defined by experiment) in plot 1. The contents of all the other elements are good. Yields at the start were fairly similar. There is no great difference between the plantations (planting 9×8 m in square, age 18-20 years, yield 35-40 nuts/tree), the rainfall and the soils (clay alluviums with 48-60 p. 100 clay). Plot 2 received almost twice as much ammonium chloride at plot 1 at

each application. The ammonium chloride raises the N levels appreciably in both plots, as well as the chlorine levels, the effect in plot 2 being more striking because of the native poverty in Cl. In both cases the copra/nut is increased by 18-19 p. 100 ; the number of nuts augments by 32 p. 100 in plot 1 against 13 p. 100 in plot 2 and the copra/tree increases by 56 p. 100 in plot 1 and 34 p. 100 in plot 2. Although the N deficiency is severe, everything happens as if chlorine were the prime limiting factor.

Plot 6 seems to confirm this analysis. The N and Cl deficiencies in the field are severe. The application of ammonium sulphate corrects the nitrogen deficiency notably without acting on the Cl levels, and increases copra/tree by 43 p. 100 (29.8 kg with ammonium sulphate against 20.1 kg for the control). The effect is more spectacular with ammonium chloride, which raises the N and Cl levels simultaneously and procures a gain of 11 p. 100 copra/tree (an effect of dilution for K is noted). What would have happened with another chloride which would have raised the Cl levels only ?

In this same plot, the action of sodium chloride has not yet made itself felt as it has only been applied recently. The case is different in plots 4 and 5. The N deficiency is larger in plot 5 than in plot 4 ; it is the other way round for the Cl deficiency. The action of the association ammonium sulphate-sodium chloride is altogether remarkable, and the worse the N deficiency the more marked the effect : the copra/tree increases by 307 p. 100 in plot 5 against 86 p. 100 in plot 4. With the application of ammonium sulphate alone plot 6 only gives 48 p. 100 more copra/tree. However, the action of ammonium chloride is not negligible for all that, since there is an increase of 62 and 274 p. 100 in the copra/nut for plots 4 and 5 respectively. There is therefore a certain equivalence between the effects of ammonium chloride on the one hand and the association ammonium sulphate-sodium chloride on the other.

The peculiarity of plot 3 lies in its fourfold deficiency in nitrogen, potassium, chlorine and sulphur. Potassium chloride associated with ammonium sulphate raises all the deficient elements close to or even above the critical levels ; copra/tree increases by 49 p. 100. The effect of ammonium chloride, which only acts on the Cl and N levels, only results in an increase of 35 p. 100, potassium and sulphur probably becoming limiting factors.

Overall, Magat's study shows that leaf analysis is a very fine tool. After defining a certain number of deficiencies in function of the critical levels, application of the appropriate fertilizers gives a yield gain of 30, 50, 100 and... 300 p. 100 !

d) Relationships with the other elements.

The studies are too recent to give the relationships with the other elements with any accuracy.

To be continued (*)

(*) The IIIrd part of this communication will be published in the January 1980 number of *Oléagineux*.



PETITE ANNONCE

HUILERIE D'ARACHIDE 150 000 t EN DOUBLE PRESSION

VEND la totalité de son matériel :

décorticage, trituration, raffinage et divers

y compris importants lots de pièces de rechange disponibles fin 1980/début 81

Ecrire : Etablissements V. Q. PETERSEN et Cie, B. P. 125, DAKAR (SÉNÉGAL)